

**ПЕРМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

В. Н. Катаев, Т. Г. Ковалёва

КАРСТОВЕДЕНИЕ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**



Пермь 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. Н. Катаев, Т. Г. Ковалёва

КАРСТОВЕДЕНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

*Допущено методическим советом
Пермского государственного национального
исследовательского университета в качестве
учебного пособия для студентов, обучающихся
по направлению подготовки бакалавров
«Геология»*



Пермь 2023

УДК 551.49: 624(075.8)
ББК 26.823.122я73.1
К29

Катаев В. Н.

К29 Карстоведение. Теоретические основы и практические приложения [Электронный ресурс] : учебное пособие. / В. Н. Катаев, Т. Г. Ковалёва ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2023. – изд. 2-е, перераб. и доп. – 3,12 Мб ; 102 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/Kovalyova-Kataev-Karstovedenie-Teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskie-prilozheniya.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-4000-3

В учебном пособии рассматриваются теоретические и практические вопросы общего и инженерного карстоведения. Представлены задания, направленные на формирование навыков обработки и систематизации геологической и гидрогеологической информации для оценки активности карстового процесса.

Цель издания – оказание помощи студентам, изучающим курсы «Карстоведение», «Инженерное карстоведение» в овладении их основами.

Предназначено для студентов-геологов, обучающихся по направлению «Геология» 05.03.01, профилю «Гидрогеология и инженерная геология».

УДК 551.49: 624(075.8)
ББК 26.823.122я73.1

*Издается по решению ученого совета геологического факультета
Пермского государственного национального исследовательского университета*

Рецензенты: кафедра «Геологии нефти и газа» Пермского национального исследовательского политехнического университета (зав. кафедрой, д-р геол.-минерал. наук, профессор **В. И. Галкин**);

директор Пермского филиала ООО «Противокарстовая и береговая защита», канд. геол.-минерал. наук **С. В. Щербаков**

© ПГНИУ, 2023

© В. Н. Катаев, Т. Г. Ковалёва, переиздание, 2023

© В. Н. Катаев, Т. Г. Ковалёва, 2003

ISBN 978-5-7944-4000-3

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
1. Типология карста. Карстующиеся породы.....	6
2. Гидрогеологические условия карстового массива.....	13
3. Оценка агрессивности подземных вод к карстующимся породам.....	20
4. Характеристика поверхностной закарстованности.....	29
5. Характеристика подземной закарстованности.....	33
6. Определение категории устойчивости территории относительно провалообразования.....	36
7. Определение расчетного диаметра карстового провала.....	44
8. Освоение территории и противокарстовые мероприятия.....	48
9. Общая характеристика карстовых массивов.....	52
Приложения.....	59

*Памяти выдающегося ученого
инженера-геолога, карстоведа,
педагога и наставника **В. Н. Катаева**
посвящается*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы в карстоведении наблюдается активизация исследований, особенно инженерно-карстологической направленности. Это связано в основном с проектированием и строительством крупных линейных федеральных объектов, проходящих по закарстованным территориям нашей страны. Основой всех карстологических исследований является общая теория карста. В основе общей теории заложены представления о карстовом массиве, как о динамичной природной или природно-технической системе, характеризующейся комплексом взаимосвязанных геолого-гидрогеологических, структурно-тектонических, техногенных элементов, результат взаимодействия которых проявляется закономерно во времени и пространстве. Исследователю необходимо учитывать тот факт, что геологический массив, сложенный карстующимися породами, – это геосистема, стремящаяся к морфологическому, гидродинамическому и гидрохимическому балансу с меняющимися условиями и факторами. В случае дисбаланса, как правило, происходит активизация карстовых явлений.

В пределах многих регионов Российской Федерации, в том числе и в Пермском крае, ведется активное хозяйственное освоение закарстованных территорий. Строительство и эксплуатация зданий и сооружений различного назначения и различной степени ответственности на участках развития карста всегда сопряжены с рисками возникновения аварийных и катастрофических ситуаций. Возникновение таких ситуаций в условиях развития карстового процесса определяется возможностью обрушения грунтовых масс в подземные пустоты и, как следствие, образования провалов на земной поверхности, ведущие к деформациям зданий и сооружений.

Для ряда населенных пунктов, например таких как г. Уфа, г. Москва, г. Кунгур и ряд поселков в Пермском крае, г. Дзержинск, г. Арзамас в Нижегородской области, проблемы изучения карста и борьбы с его отрицательными последствиями давно стали актуальными. Строительное освоение закарстованных территорий требует подготовки специалистов, знакомых с возникающими при этом гидрогеологическими, инженерно-геологическими, инженерно-строительными и экологическими проблемами. Именно по этой причине в учебных планах бакалавров, обучающихся в ПГНИУ по направлению «Геология», профилю «Гидрогеология и инженерная геология», введен курс Карстоведения, а для магистрантов направления «Инженерная геология» – и Инженерного карстоведения.

В Пермском государственном университете курс общего карстоведения читается с 1947 г. Необходимо отметить, что наш университет является одним

из немногих университетов, выпускающих геологов, где Карстоведение читается отдельным, полноценным курсом. Первым лектором курса был Георгий Алексеевич Максимович, являющийся одним из основоположников отечественного карстоведения, основателем кафедры динамической геологии и гидрогеологии Пермского государственного университета и основателем Института карстоведения и спелеологии. Позже этот курс преподавался Кларой Андреевной Горбуновой – доцентом кафедры динамической геологии и гидрогеологии, выдающимся специалистом в области карста, геоморфологии и гидрогеохимии. Именно К.А. Горбуновой в 1981 г. разработана первая программа курса «Карстоведение» для студентов специальности «Гидрогеология и инженерная геология». С 1997 г. курс читался профессорами Виктором Николаевичем и Галиной Николаевной Дублянскими.

Последние 15 лет лекционный курс Карстоведение читал профессор, доктор геолого-минералогических наук, яркий представитель пермской школы карстоведения Валерий Николаевич Катаев. Его лекционный материал был насыщен практическими примерами и глубокими знаниями природы процесса, слушать его было особое удовольствие. Валерий Николаевич был выдающимся карстоведом, инженер-геологом, гидрогеологом, Учителем, чьи научные труды внесли существенный вклад в развитие карстоведения. Переданный им богатый методический и научный опыт будет использован при дальнейшем чтении курса и в научных работах его учеников для продолжения и развития пермской школы карстоведения. В настоящее время курс читается ученицей В.Н. Катаева доцентом Т.Г. Ковалевой.

При подготовке настоящего пособия, ориентированного на решение практических задач, использована основная отечественная научная, методическая и нормативная литература по проблеме. В нем обобщен опыт освоения закарстованных территорий и использована понятийная база, созданная геологами-карстоведами Пермского университета. Пособие является существенным дополнением к изданным ранее учебным пособиям по различным сферам карстоведения таких авторов, как В.Н. Катаев (2001, 2004 гг.), В.Н. Дублянский, Г.Н. Дублянская (2004, 2008 гг.), В.Н. Дублянский, Г.Н. Дублянская, В.Н. Катаев, В.П. Костарев, В.В. Толмачев (2011 г.).

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, специализирующихся в области гидрогеологии, инженерной геологии. Оно представляет интерес и для студентов, обучающихся в области промышленного, гражданского и гидротехнического строительства.

Выражается признательность рецензентам за ценные замечания по структуре и содержанию работы. Все возникающие замечания и пожелания прошу направлять по адресу: 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, Пермский государственный национальный исследовательский университет, геологический факультет или по электронной почте kovalevatg@mail.ru.

Т.Г. Ковалёва

1. ТИПОЛОГИЯ КАРСТА. КАРСТУЮЩИЕСЯ ПОРОДЫ

Основной классификацией карста является классификация по литологии. Литологические типы карста определяются литологией карстующейся породы. Карстующимися породами принято считать:

- **карбонаты** (известняки, доломиты, мелы и мраморы);
- **сульфаты** (гипсы и ангидриты);
- **галоиды** (каменные и калийные соли).

Согласно ГОСТ 25100 «Грунты. Классификация» растворимые породы делятся на:

- **нерастворимые;**
- **труднорастворимые;**
- **среднерастворимые;**
- **легкорастворимые;**
- **сильнорастворимые.**

К труднорастворимым породам, как правило, относятся карбонатные породы, к среднерастворимым – сульфатные, к легко- и сильнорастворимым – галоидные. Соответственно по литологии выделяются типы карста: **карбонатный, сульфатный и соляной (галоидный)**. В природе часто встречается переслаивание карбонатных и сульфатных пород, например, характерно для территории г. Кунгура Пермского края, такой тип карста – карбонатно-сульфатный.

В классификации карста по внешним признакам (обнаженность, соотношение пород в массиве, рельеф и др.) выделяются несколько типов карста, а именно:

- **средиземноморской тип, голый, обнаженный, открытый**, – карстующиеся породы непосредственно выходят на поверхность: Горный Крым, некоторые участки Кавказа, горные страны Средиземноморья (Динариды);

- **кавказский тип** (по Г.А. Максимовичу), **задернованный** (по Н.А. Гвоздецкому). Карстующиеся породы покрыты почвенно-дерновым или элювиально-почвенно-дерновым покровом;

- **среднеевропейский тип, покрытый, подэлювиальный**. Карстующиеся породы покрыты элювиальными отложениями;

- **русский тип** (по Г.А. Максимовичу), **восточно-европейский** (по М.А. Зубашенко), **среднерусский** (по И.В. Попову), **закрытый**. Карстующиеся толщи закрыты относительно мощным чехлом, как правило, стратифицированных, некарстующихся пород;

- **камский тип, перекрытый**. Карстующиеся породы перекрыты аллювием и (или) отложениями террасового комплекса (характерны подземные формы вдольбортового, поддолинного, подруслового стока);

– **среднеатласский тип, подвулканический, бронированный** (по Г.А. Максимовичу). Карстующиеся породы покрыты изверженными породами различного состава (часто базальтовые покровы четвертичного возраста).

По сочетанию карстующихся и некарстующихся отложений проводят типизацию обстановок карстообразования. Тип обстановок карстообразования зависит от литологии и сочетания отложений, перекрывающих и подстилающих карстующиеся породы. Тип обстановок, в которых проводятся изыскания, а также комплекс пород, в которых ведутся исследования, будут определяться глубиной изучения разреза, которая в свою очередь обусловлена глубиной возможного влияния (динамического или статического) элементов техногенной нагрузки. В некоторых случаях обстановка определяется только одним из выделенных комплексов.

Анализ принципиального строения массивов, содержащих растворимые породы, позволяет выделить в их составе типичные литологические комплексы, пространственное сочетание которых часто определяет степень устойчивости закарстованной территории.

Типичные комплексы отложений:

покровные: рыхлые несвязные, мягкие связные и их сочетания – отложения аллювиального, элювиально-делювиального, обвального-карстового генезиса, перекрывающие с поверхности коренные породы;

некарстующиеся: твердые скальные или относительно твердые полускальные и их сочетания – породы осадочного, вулканогенного, магматического, метаморфического генезиса;

фрагментарно карстующиеся: твердые скальные и относительно твердые полускальные породы осадочного, вулканогенного, магматического, метаморфического генезиса и их сочетания с подчиненными прослоями, линзами или прожилками карстующихся пород; включения отдельных кристаллов или агрегатов относительно легко растворимых минералов (как правило, класса карбонатов);

карстующиеся: твердые скальные и твердые полускальные породы осадочного или метаморфического генезиса – карбонатные (известняки, доломиты, мергели, мраморы, мел), сульфатные (гипс, ангидрит), галоидные (каменные и калийные соли), их переходные разности и литологические сочетания. Некоторые исследователи к этому комплексу относят конгломераты с карбонатным цементом, силикатно-карбонатные породы с проявлениями брадикарста и карстовую брекчию (Дублянский, Илюхин, 1982; Шимановский, 1964). «Брадикарст», по определению Г.А. Максимовича, медленно развивающийся карст в силикатных породах (кварцитах), где растворяется карбонатная составляющая этих пород.

В зависимости от геоструктурной обстановки изменяется степень дислоцированности выделенных комплексов.

Сочетание комплексов в геологическом разрезе определяет тип обстановок карстообразования или тип карста в зависимости от литологии и сочетания отложений, перекрывающих карстующиеся породы

В литературе по сочетанию карстующихся и некарстующихся отложений выделено свыше 40 типов карста (Тимофеев и др., 1991).

В нормативных документах (СП 11-105-97, с. 17; ТСН 22-308-98 НН, с. 3) выделяются два типа карста:

открытый карст – карстующиеся породы выходят на поверхность или покрыты лишь почвенно-растительным слоем,

покрытый карст – карстующиеся породы покрыты сверху некарстующимися отложениями.

На территории РФ преобладает покрытый тип карста.

Г.Н. и В.Н. Дублянские (1992, 1998) предложили выделять для инженерно-геологических целей четыре основных и один дополнительный типы карста:

1) **открытый карст** – карстующиеся породы выходят на поверхность или покрыты осадочными несцементированными отложениями мощностью до 2 м (снимается при планировке территории);

2) **покрытый карст** – карстующиеся породы покрыты осадочными несцементированными отложениями мощностью более 2 м;

3) **перекрытый карст** – карстующиеся породы перекрыты осадочными сцементированными или магматическими, или метаморфическими породами различной мощности;

4) **перекрыто-покрытый карст** – карстующиеся породы перекрыты осадочными несцементированными и осадочными сцементированными или магматическими, или метаморфическими породами различной мощности;

5) **смешанный карст** в долинах рек с чередованием участков развития карста разных типов.

Любой из выделенных типов в зависимости от специфики инженерного сооружения может быть оценен как «относительно опасный».

Учитывая современные представления о критериях карстоопасности (наличие и образование провальных форм больших поперечных размеров), закрепленных в нормативных документах, можно считать наиболее опасными с позиции развития внезапных провалов ситуации:

– когда на карстующихся породах залегают осадочные полускальные слои (3-й и 4-й типы),

– когда карстующиеся толщи выходят на поверхность и представлены переслаиванием отложений разной интенсивности растворения (карбонатно-

сульфатный, сульфатно-карбонатный и другие типы) – один из вариантов 1-го типа.

В этих случаях трещиноватая кровля способствует избирательному растворению с формированием арок или плоских перекрытий над полостями, создающих предпосылки для катастрофического обрушения.

В качестве примера приведем геологическое строение территории г. Кунгура по материалам, изложенным в монографии «Геология и карст города Кунгура» (2010). Следует отметить, что геологическое строение территории г. Кунгура, как, впрочем, и иных территорий развития сульфатно-карбонатного типа карста при наличии обвального-карстовых отложений и иных перекрывающих отложений различного генезиса, характеризуется повышенной сложностью, что выражается в литолого-фациальной изменчивости и изменчивости мощностей отложений как по разрезу, так и по площади. Практика показывает, что совпадение геологических разрезов отложений, фиксируемых по результатам бурения даже близко расположенных скважин, является исключением, а не правилом.

В пределах территории г. Кунгура в результате обобщения данных бурения скважин различного назначения было выявлено тринадцать типов сочетания карстующихся и перекрывающих отложений различного состава и генезиса (рис. 1.1).

Выделенные типы и подтипы геологических разрезов наиболее полно характеризуют принципиальное геологическое строение территории города, по крайней мере, её северной, наиболее изученной части. Площадное распределение типов геологического строения неравнозначно. Например, тип **I-Б-а** распространен локально на востоке городской территории. Тип **I-Б-б** прослеживается вдоль русла р. Сылвы в северной части города, сужаясь и выклиниваясь по площади в районе устья р. Ирень. Типы **I-Б-в** и **I-Б-г** развиты преимущественно вдоль восточной городской границы. Тип **II-А** имеет крайне ограниченное распространение. Он отмечается на двух участках северо-востока городской территории в пределах высокого правого борта долины р. Сылвы (обнажения Ледяной горы). Этот тип также выделен в виде узких коротких полос вдоль юго-западной границы города (обнажения коренных берегов р. Ирени). На этих участках зафиксированы единичные воронки и провалы преимущественно по их периферии, на границе территорий распространения **I** и **III** типов геологических разрезов. Тип **II-Б-б** в площадном отношении развит в северной и северо-восточной части города, включая и его междуречную, наиболее плотно застроенную часть. В его пределах в виде локальных участков отмечаются типы **II-Б-а**, **III-Б-а**, **III-Б-б**. Тип **II-Б-в** развит центральной части города, в районе Черемушки, стадиона. К типу **II-Б-г** относится микрорайон Нагорный и, веро-

ятно, наименее изученная южная часть. Все подтипы карста типа **III-Б** имеют локальное распространение.

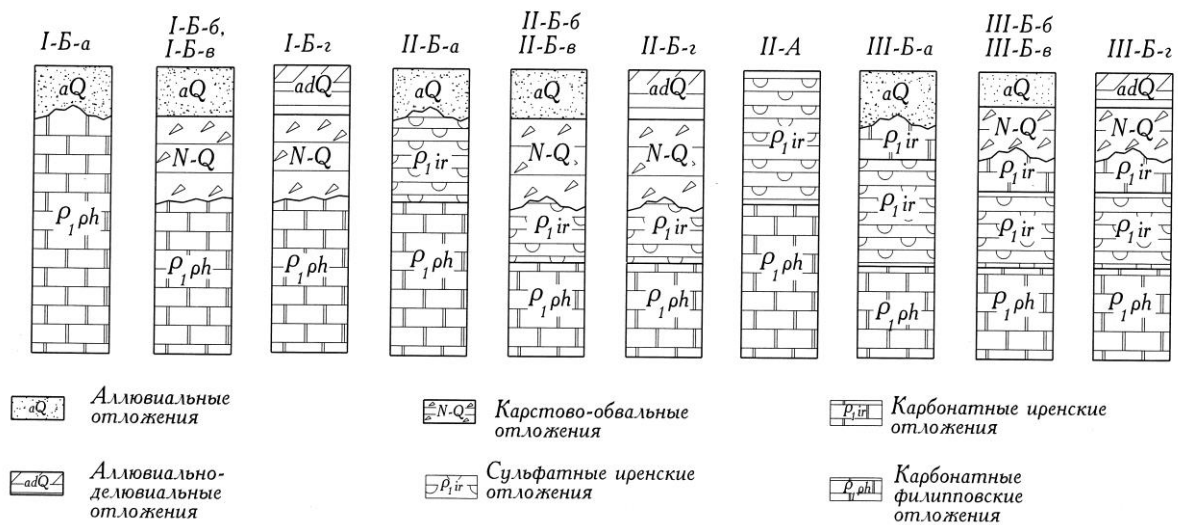


Рис. 1.1. Типы геологических разрезов на территории г. Кунгура

В целях общей, площадной оценки карстоопасности типизационная схема геологического строения может быть генерализована (рис. 1.2).

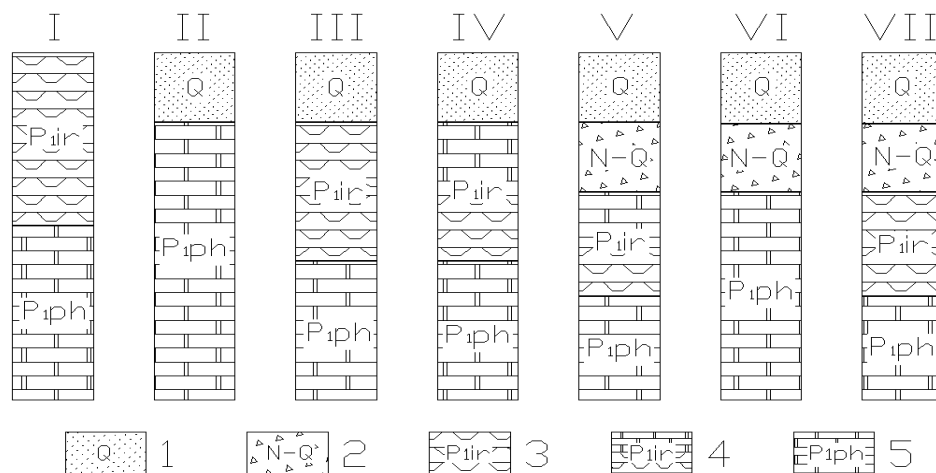


Рис. 1.2. Генерализованные типы геологических разрезов территории г. Кунгура.

Условные обозначения: 1 – аллювиально-делювиальные отложения четвертичного возраста; 2 – обвально-карстовые отложения неоген-четвертичного возраста; 3 – сульфатные отложения иренского горизонта; 4 – сульфатно-карбонатные отложения иренского горизонта; 5 – карбонатные отложения филипповского горизонта

Практическое задание 1

Построение карстологического разреза. Определение типа карста

Порядок выполнения задания:

1. На основании имеющихся данных, согласно заданному варианту: геологическая карта участка (масштаб карты 1:10 000), описание колонок скважин (приложение 1) построить карстологический разрез участка в масштабах: горизонтальный – 1: 5000, вертикальный – 1:500.
2. Условные обозначения принять согласно ГОСТ21.302-2021, составить легенду к карстологическому разрезу.
3. Дать характеристику карстующихся пород и разреза.
4. Определить типы карста по литологии карстующихся пород и характеру перекрывающих отложений.

Библиографический список

Дублянский В.Н., Илюхин В.В. Крупнейшие карстовые пещеры и шахты СССР. М.: Наука, 1982. 137с.

Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск, 1992. 143 с.

Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Теоретические основы изучения парагенезиса карст – подтопление. Пермь, 1998, 204 с.

Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура: монография / Перм. гос. ун-т; ГИ УрО РАН. Пермь, 2010. 249с.

СП 11-105-97. Ч. 1. Инженерно-геологические изыскания для строительства / Госстрой России. 1998.

СП 11-105-97. Ч. 2. Инженерно-геологические изыскания в районах опасных геологических, инженерно-геологических процессов / Госстрой России. 1998.

Тимофеев Д.А., Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Терминология карста. М.: Наука, 1991. 260с.

ТСН 22-308-98. НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области / Администрация Нижегородской области, комитет архитектуры и градостроительства. Нижний Новгород, 1999.72с.

Шимановский Л.А. Подземные воды Уфимского плато (зона активного водообмена): дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-мин. наук / Перм. ун-т. Пермь, 1964. Т.1. 347с.

Список рекомендуемой литературы

Дублянский В.Н., Андрейчук В.Н. Терминология спелеологии/ УрО АН СССР. Екатеринбург, 1991. 202с.

Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н., Катаев В.Н., Костарев В.П., Толмачев В.В. Карстоведение. Ч. 3. Инженерное карстоведение: учеб. пособие / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2011. 288 с.

Максимович Г.А. Основы карстоведения. Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1963. Т. 1. 444с.

ГОСТ 21.302-2021. Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям / Российский институт стандартизации. М., 2022.

2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КАРСТОВОГО МАССИВА

При карстологическом анализе территории целесообразно наряду с оценкой геологических или структурно-тектонических факторов, определяющих потенциальность развития деформационных явлений, оценить и прогностичность отдельных гидрогеологических явлений регионального и локального уровней, связанных в первую очередь с динамичными изменениями водного и химического режимов подземных вод.

В массивах карстующихся горных пород существует *эффект локальных динамичных изменений гидрогеологических параметров*, пространственно связанный с зонами и участками повышенной плотности трещин, дробления, зонами разломов. Эффект усиливается в пределах площадей неотектонической активности. Здесь удельные водопритоки достигают максимумов, резко повышается минерализация подземных вод. Изменения имеют широкий диапазон периодов, в том числе и внутрисуточный.

Динамичные изменения параметров водообильности и химического состава подземных вод являются показателем локальной активности гидрогеологических процессов, в том числе процессов подземной эрозии и растворения. Участки и зоны динамичного изменения гидрогеологических параметров – это места потенциального развития подземных карстовых пустот и провальных карстовых явлений.

Карстологический прогноз основывается на установлении локальных закономерностей динамичных изменений параметров водообильности и химического состава подземных вод, одновременно являющихся показателем активности гидрогеологических процессов. Территориально места подобных изменений являются участками и зонами потенциального развития подземных карстовых пустот и, как следствие, – появления карстовых (карстово-суффозионных) провалов. Практически участки, характеризующиеся гидрогеологическими и гидрогеохимическими параметрами с короткими циклами вариаций (участки неустойчивого химического режима, резких изменений водного уровня), при решении задач прогнозных построений «указывают» на участки потенциальной провалоопасности.

Гидрохимические вариации оцениваются не только по смене содержания отдельных химических компонентов, но и по их комплексному изменению, выражаемому сменой определенной гидрохимической фации.

Впервые формулировки гидрохимических фаций и формаций были введены Г.А. Максимовичем в 1955 г., данные понятия, как правило, используются в пермской школе и не получили широкого применения в гидрогеологической среде.

По Г.А. Максимовичу, *гидрохимическая фация* – это часть карстового потока или карстовой водоносной зоны, воды которых характеризуются одинаковыми гидрохимическими свойствами, определяемыми по преобладанию одних растворенных веществ (ионов, коллоидов). В наименование гидрохимической фации включаются компоненты с содержанием более 10% от величины общей минерализации в порядке убывания. Гидрохимические фации объединены в группы, или *гидрохимические формации*, по первому преобладающему растворенному компоненту.

Например, в пределах территории г. Кунгура выделяются следующие водоносные комплексы с характерным химическим составом: верховодка, воды аллювиально-делювиального комплекса отложений, воды обвально-карстовых отложений, воды иренского водоносного горизонта, воды филипповского горизонта.

Верховодка приурочена к насыпным грунтам и суглинкам верхней части разреза, носит пестрый химический состав. Это обусловлено преимущественно бытовым загрязнением подземных вод с поверхности. Чаше встречаются воды гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$), реже сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые ($\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca}$) и гидрокарбонатно-кальциево-натриево-магниевые ($\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$) с минерализацией 1,3-2,0 г/дм³, реже 2,3-3,2 г/дм³, с наличием загрязняющих компонентов – нитратов (до 36-100 мг/дм³) и аммония (до 15 г/дм³). Воды обладают агрессивными свойствами к сульфатным породам (дефицит насыщения составлял от 400 до 1600 мг/дм³), содержание сульфат-иона от 120 до 970 мг/дм³.

Воды **аллювиально-делювиального комплекса** отложений не отличаются постоянством состава – характеризуются широким гидрохимическим спектром. Пробы установили наличие 21 гидрохимической фации, среди которых выделяются три наиболее представительные группы, принадлежащие к следующим формациям: сульфатной (4 фации), гидрокарбонатной (5 фаций), кальциевой (5 фаций).

По химическому составу грунтовые воды аллювия, встреченные в пределах **западной** части территории, в основном сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые ($\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca}$) с минерализацией от 1,5 до 2,6 г/дм³, содержание сульфат-иона от 600 до 1000 мг/дм³, реже 300-500 мг/дм³.

Почти все встреченные при изысканиях грунтовые воды, за исключением проб, отобранных глубже 20 м, в меженный период обладали растворяющей способностью к сульфатным породам – дефицит насыщения составлял по всем пробам в основном до 1000 мг/дм³, в весенние периоды фиксировались воды с дефицитом насыщения до 1300-1400 мг/дм³.

Химический состав грунтовых вод в **восточной** части территории характеризуется в основном до глубины 7,5 м гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевым ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$) составом с минерализацией 0,3-1,3 г/дм³ при содержании сульфат-иона 64-240 мг/дм³ и дефицитом насыщения 1300-1700 мг/дм³.

С глубины 8-9 м воды приобретают сульфатно-кальциевый ($\text{SO}_4\text{-Ca}$) и сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевый ($\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca}$) состав и минерализацию до 0,9 г/дм³. Ближе к р. Сылве отмечается увеличение минерализации до 1,9-2,7 г/дм³. Содержание сульфат-иона в воде составляет от 430 (в восточной части) до 1550 мг/дм³.

Участки вертикальных перетоков подземных вод из комплекса в комплекс должны быть ограничены по площади, характеризоваться непостоянством фациального состава, наличием вод сульфатной формации и повышенной минерализации. В пределах распространения **аллювиально-делювиального комплекса** отложений участки вертикальных перетоков характеризуются смещением на весьма ограниченных площадях вод преимущественно сульфатно-кальциевой ($\text{SO}_4\text{-Ca}$), гидрокарбонатно-кальциевой ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$), гидрокарбонатно-сульфатной ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4$) фаций. На таких участках, как правило, закартированы карстовые провалы или устья скважин, встретивших карстовые полости.

Химический состав вод, приуроченных к **обвальным-карстовым отложениям**, характеризуется сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевой ($\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca}$) фацией. Минерализация этих вод 1,9-2,3 г/дм³, содержание сульфат-иона изменяется в широких пределах – от 490 до 1200 мг/дм³, воды агрессивны к сульфатным породам (дефицит насыщения от 200 до 1000 мг/дм³).

Полный химический состав вод **иренского водоносного горизонта** в пределах города представлен четырьмя гидрохимическими формациями: сульфатной, кальциевой, калиево-натриевой и хлоридной (SO_4 ; Ca; K-Na; Cl). Сульфатная формация представлена спектром из трех фаций: сульфатно-кальциевой ($\text{SO}_4\text{-Ca}$), сульфатно-калиево-натриевой ($\text{SO}_4\text{-K-Na}$) и сульфатно-хлоридной ($\text{SO}_4\text{-Cl}$). Кальциевая представлена кальциево-гидрокарбонатной (Ca-HCO_3) и кальциево-сульфатной (Ca-SO_4) фациями. Калиево-натриевая формация – калиево-натриево-сульфатной (K-Na-SO_4) и калиево-натриево-хлоридной (K-Na-Cl). Хлоридная формация представлена одной хлоридно-калиево-натриевой фацией (Cl-K-Na).

В целом по городской территории преимущественное развитие в водах иренского горизонта получили две фации – сульфатно-кальциевая ($\text{SO}_4\text{-Ca}$) и кальциево-сульфатная (Ca-SO_4). Реже, преимущественно в пределах п. Нагорный и в зоне, примыкающей к р. Ирень, встречены воды хлоридного состава.

Анализ карт пространственного соотношения гидрохимических фаций и карстовых форм показывает, что часто местоположение провальных деформаций, вскрытых полостей и участков, характеризующихся изменчивостью химического состава, как минимум в пределах двух фаций: сульфатно-кальциевых ($\text{SO}_4\text{-Ca}$) и кальциево-сульфатных вод (Ca-SO_4), совпадает. *Участки, где данное совпадение имеет место, могут быть идентифицированы как потенциально опасные с точки зрения интенсивности развития процессов растворения сульфатной толщи.* Объясняется это предположение тем, что смена гидрохимической фации может произойти только в том случае, если периодически (сезонно) концентрация сульфат-иона изменяется – увеличивается или уменьшается, что в свою очередь предполагает периодическое недонасыщение водных растворов сульфат-ионом и их соответствующую периодически меняющуюся агрессивность по отношению к гипсоангидритам.

Трещинно-карстовые воды по данным опробования в разные годы в меженные периоды выщелачивающей способностью не обладали. Наличие водоупора в сульфатной толще, а также наличие в разрезе менее проницаемого слоя крупнообломочных с глинистым заполнителем обвального-карстовых образований не способствуют активному «внедрению» в карстовый массив агрессивных к сульфатным породам грунтовых вод. Исключение составляют участки, где при отсутствии обвального-карстовых образований сульфатные отложения, как правило, трещиноватые, перекрыты с поверхности гравийно-песчаными отложениями.

На участках отсутствия водоупора в сульфатной толще, а следовательно, повышенной интенсивности водообмена между подземными водами (эффект гидрогеологического окна) фиксировались трещинно-карстовые воды до глубины 28-40 м обладающие по своему химическому составу выщелачивающей способностью по отношению к сульфатным породам, дефицит насыщения вод сульфатом кальция (CaSO_4) составляет от 0,1 до 550 мг/дм³.

Трещинно-карстовые воды **филипповского горизонта**, развитые на контакте с ангидритами ледянопещерской пачки, имеют сульфатно-кальциевый ($\text{SO}_4\text{-Ca}$) и сульфатно-кальциево-гидрокарбонатно-магниевый ($\text{SO}_4\text{-Ca-HCO}_3\text{-Mg}$) состав, минерализацию 3,0-3,6 г/дм³, содержание сульфат-иона составляет 1500-2250 мг/дм³. Следует отметить, что на участках, где ледянопещерская пачка отсутствует, встречаются воды с минерализацией 2,5 г/дм³ и меньшим содержанием сульфат-иона (1400 мг/дм³), почти ненасыщенные сульфатом кальция (произведение растворимости CaSO_4 на пределе). Эти воды в данных условиях способны растворять сульфатные породы.

Обработка химических анализов подземных вод. Результаты химических анализов подземных вод, как правило, представляют в весовой форме – количество содержащихся в воде веществ (анионов и катионов) указывают в мг/дм³ или в г/дм³. Для обработки результатов и полной характеристики свойств воды такой формы анализа недостаточно, поэтому наряду с весовой формой используют миллиграмм-эквивалентную (мг-экв/дм³) и процент-эквивалентную (%-экв/дм³). Эквивалентная форма основана на том положении, что ионы в природных растворах реагируют между собой не в равных весовых количествах, а в эквивалентных, зависящих от массы ионов и их валентности. Для перехода от весовой формы к миллиграмм-эквивалентной нужно число миллиграммов разделить на эквивалентную массу иона или умножить на пересчетные коэффициенты, представленные в табл. 1.

Так как вода является равновесной системой, то в эквивалентной форме сумма анионов будет равна сумме катионов. В случае сокращенного анализа воды, где ионы Na и K определяются совместно (Na+K), их значение в эквивалентной форме принимают, как разницу между рассчитанной суммой анионов в эквивалентной форме и суммой рассчитанных катионов в эквивалентной форме, которые в ходе химического анализа были определены отдельно.

Классификации подземных вод по величине общей минерализации и общей жесткости приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 1

**Пересчетные коэффициенты для перехода от весовой формы
к миллиграмм-эквивалентной**

Анионы	мг/дм ³ -> мг-экв/дм ³	Катионы	мг/дм ³ -> мг-экв/дм ³
Cl ⁻	0,0282	Na ⁺	0,0435
SO ₄ ²⁻	0,0208	K ⁺	0,0256
HCO ₃ ⁻	0,0164	Ca ²⁺	0,0499
CO ₃ ²⁻	0,0333	Mg ²⁺	0,0822
NO ₃ ⁻	0,0161	Fe ²⁺	0,0537
NO ₂ ⁻	0,0217	Fe ³⁺	0,0358
		NH ₄ ⁺	0,0554

Таблица 2

**Классификация подземных вод по величине общей минерализации
(по ОСТ 41-05-263-86)**

Минерализация, г/дм ³	Подгруппа вод	Группа вод
До 0,5 включ.	Весьма пресные	Пресные
Св. 0,5 до 1,0 включ.	Пресные	
Св. 1,0 до 1,5 включ.	Весьма слабосолоноватые	Солоноватые
Св. 1,5 до 3,0 включ.	Слабосолоноватые	
Св. 3,0 до 5,0 включ.	Умеренно солоноватые	
Св. 5,0 до 10,0 включ.	Солоноватые	
Св. 10,0 до 25,0 включ.	Сильносолоноватые	
Св. 25,0 до 35,0 включ.	Слабосоленые	Соленые
Св. 35,0 до 50,0 включ.	Сильносолёные	
Св. 50,0 до 150,0 включ.	Рассолы слабые	Рассолы
Св. 150,0 до 350,0 включ.	Рассолы крепкие	
Св. 350,0	Рассолы весьма крепкие (рапа)	

Таблица 3

Классификация подземных вод по величине общей жесткости

Общая жесткость, мг-экв/л	Тип
До 1,5 включ.	Очень мягкая
Св. 1,5 до 3,0 включ.	Мягкая
Св. 3,0 до 6,0 включ.	Умеренно жесткая
Св. 6,0 до 9,0 включ.	Жесткая
Св. 9,0	Очень жесткая

Практическое задание 2

Характеристика гидрогеологических условий карстового массива

Порядок выполнения задания:

1. На карстологический разрез, построенный в задании 1, нанести встреченные и установившиеся уровни подземных вод, соединить водоносные горизонты.
2. Обработать результаты химических анализов состава подземных вод (приложение 2), составить формулу ионного состава, определить тип воды по формуле ионного состава, дать классификацию по минерализации и по общей жесткости, определить гидрохимическую фацию по Г.А.Максимовичу.
3. Дать общую характеристику гидрогеологических условий на участке.

Библиографический список

Максимович Г.А. Химическая география вод Суши. М.: Географгиз, 1955. 328 с.

ОСТ 41-05-263-86. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986.

Список рекомендуемой литературы

Горбунова К.А. Морфология и гидрогеология гипсового карста: учеб. пособие по спецкурсу / Перм. ун-т. Пермь, 1979. 95с.

Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура / Перм. гос. ун-т; ГИ УрО РАН. Пермь, 2010. 249с.

Лукин В.С., Ежов Ю.А. Карст и строительство в районе г. Кунгура. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1975. 118с.

Максимович Г.А. Основы карстоведения. Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь: Перм. кн. изд-во. 1963. Т. 1. 444с.

Максимович Г.А. Основы карстоведения. Вопросы гидрогеологии карста, реки и озера карстовых районов, карст мела, гидротермокарст: учеб. пособие. Пермь, 1969. Т. II. 529с.

3. ОЦЕНКА АГРЕССИВНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД К КАРСТУЮЩИМСЯ ПОРОДАМ

Растворимость – это способность грунта переходить в раствор при взаимодействии с водой или любой жидкостью. Согласно ГОСТ 25100 «Грунты. Классификация», как уже говорилось ранее, горные породы подразделяются на:

- *нерастворимые* (растворимость до 0,01 г/дм³);
- *труднорастворимые* (0,01-1 г/дм³);
- *среднерастворимые* (1-10 г/дм³);
- *легкорастворимые* (10-100 г/дм³);
- *сильнорастворимые* (свыше 100 г/дм³)

К труднорастворимым относятся **карбонатные** породы и их литологические разности (известняки, доломиты, мел, мраморы, известковый туф), к среднерастворимым – **сульфатные** породы и их литологические разности (гипсы, ангидриты), к легко- и сильнорастворимым – **галоидные** породы (каменная, калийная и иные соли).

Наряду с термином «растворение» широко используется термин «выщелачивание», под которым понимается **избирательное растворение и вынос водой отдельных компонентов породы**. Выщелачивание часто отождествляется с растворением в общем смысле, что принципиально неверно.

Говоря о растворимости горных пород, следует помнить, что константы равновесия выведены не для карбонатных, сульфатных и соляных пород, а для **слагающих их минералов и стандартных условий** (растворитель – дистиллированная вода, pH – 7,0, температура – 10, 17 или 25 градусов Цельсия, давление – 105 Па). При этом растворимость отдельных порообразующих минералов составляет 90 (доломит), 100 (кальцит), 2400 (гипс), 26400 (сильвин), 36000 (галит) мг/дм³.

Скорость растворения карстующихся пород в основном определяется степенью растворимости и трещиноватости пород, агрессивностью и скоростью потока подземных вод. Растворимость карбонатных пород в сотни раз меньше (при прочих равных условиях) растворимости сульфатных пород. Скорость растворения карбонатных пород в природных условиях весьма мала (доли миллиметра – миллиметры в год на поверхности растворения). Карстовые полости в карбонатных породах, обнаруженные в результате изысканий, создавались за счет растворения пород, как правило, за геологически длительное время. Карстовые полости в сульфатных породах могут развиваться за счет растворения до критически опасных размеров в пределах расчетного срока службы сооружений.

Обзор результатов изучения растворимости гипса и ангидрита за период 40-70 гг. XX в. приводит К.А. Горбунова в учебном пособии «Карст гипса СССР» (1977). Так, по результатам опытов А.М. Кузнецова (1947) в районе Камской ГЭС была установлена зависимость растворимости от структурно-текстурных особенностей пород. Потеря веса образцов после 10-дневного контакта с водой составила: у гипса плотного, мраморовидного – 26%, гипса волокнистого (селенита) – 34%, гипса плотного, местами выветрелого, – 28%, гипса мраморовидного крупнокристаллического – 24%, гипса плотного, мелкокристаллического – 25%, ангидрита – 13%.

Опыты Г.Г. Скворцова (1955) по растворимости гипса и ангидрита в воде природного источника с минерализацией 0,4–0,5 г/дм³ при скорости воды 2 м/мин показали, что за 24 часа растворилось 10 % ангидрита, 57,8 % гипса крупнокристаллического, 77,5 % гипса тонкослоистого. Относительная скорость растворения гипса в 4,9–7,7 раза больше, чем ангидрита.

Аналитический обзор результатов экспериментов показал, что скорость растворения зависит прежде всего от скорости фильтрации, концентрации растворителя, структурно-текстурных особенностей гипса, имеющих примесей и температуры.

Гипс с примесями растворяется быстрее, чем чистый гипс, но вместе с тем при значительном содержании нерастворимых примесей процесс растворения гипса замедляется. Средняя скорость растворения равняется 35 мг с 1 см² в сутки.

Особый интерес в обзоре К.А. Горбуновой представляет исследование о скорости насыщения фильтрующейся воды гипсом. Приведены результаты экспериментов по определению длины пути насыщения растворов сульфатом кальция как результат растворения чистого (без примесей) природного гипса при раскрытии в породе трещин 0,1–5,5 мм и гидравлических градиентах 0,002–1. Растворителем служила дистиллированная вода с температурой 17–18°C. Было установлено, что насыщение водного растворителя сульфатом кальция в реальных условиях происходит на расстояниях от точки входа раствора от нескольких десятков сантиметров до нескольких десятков и сотен метров в зависимости от скорости фильтрации, раскрытия трещин и ориентации потока по отношению к растворяющейся породе.

Общие выводы К.А. Горбунова (1977) формулирует так:

- при температурных условиях, характерных для земной поверхности (0–40°C), гипсы и ангидриты обладают высокой растворимостью. Развитие сульфатного карста не ограничивается температурным фактором. Он может ак-

тивно протекать как в арктической зоне в периоды, когда температура устанавливается выше 0°C, так и в пустынной зоне при наличии воды.

Примечание: при температуре 0 °C концентрация гипса в водном растворе достигает 1,7 г/дм³ и растет до температурного барьера примерно в 40°C до 2,0-2,1 г/дм³. При дальнейшем повышении температуры водного раствора концентрация растворенного гипса уменьшается до 1,7 г/дм³ при температуре близкой к 100 °C.

– большую роль в развитии сульфатного карста играют длина пути фильтрации и скорость движения воды. Насыщение природных вод гипсом происходит сравнительно быстро;

– состав природных вод, попадающих в гипсы и ангидриты, также является одним из основных факторов, влияющих на скорость растворения пород и, следовательно, на интенсивность карста. По мере насыщения воды сульфатом кальция карст затухает. Наиболее интенсивно сульфатный карст проявляется в местах поглощения пресных речных вод, разгрузки в сульфатную толщу подземных вод из некарстующихся толщ;

– интенсивное растворение гипсов может происходить и водами повышенной минерализации Cl–Na или SO₄–Na состава, формирующимися, например, на контакте с залежами каменной соли.

Примечание: в условиях присутствия в водных растворах NaCl или MgCl в достаточно высоких концентрациях (100-200 г/дм³) растворимость гипса может увеличиваться, и его концентрация в водном растворе может достигать 6,5 г/дм³ и более (до 10 г/дм³).

В условиях Кунгурской Ледяной пещеры и ряда районов распространения сульфатно-карбонатного карста Пермского края эксперименты по растворимости гипса и ангидрита проводились в период 1957-1992 гг. сотрудниками Кунгурского карстового стационара и Пермского университета. Общие выводы по экспериментам в целом подтверждают ранее проведенные исследования в других регионах России и ближнего зарубежья. В частности:

– скорость растворения сульфатных пород повышается с увеличением скорости движения воды и её температуры – при температуре воды более 25-30 °C скорость растворения породы замедляется;

– скорость растворения зависит от присутствия в породе карбонатных прослоев – скорость растворения сочетания пород «ангидрит-доломит» в 15 раз выше, чем гипсов и ангидритов;

– на уровне карстовых вод и в зоне колебания уровней карстовых вод в условиях, близких к насыщению вод сульфатами, процесс растворения не пре-

кращается и активизируется в весенне-летний период, особенно на участках подпитки подземных вод речными водами.

Исследования дефицита насыщения карстовых вод с применением различных методик были проведены К.А. Горбуновой и др. (1986) для Кунгурской пещеры по данным анализа водных проб за 1983-1985 гг. Использовались методики В.П. Зверева (1982), номограммы В.П. Костарева (1982), методики А.И. Климаса (1975) и А.В. Лехова (1983). Сравнительный анализ результатов расчета дефицита насыщения различными методами свидетельствует об их расхождении, связанных в первую очередь с использованными константами равновесия, не соответствующими природным интервалам температур, обычных для природных условий развития карста.

Тем не менее исследователям удалось определить некоторые закономерности, например:

- агрессивность вод (дефицит насыщения) не является величиной постоянной, а имеет годовой цикл, связанный с сезонами года;
- установлена корреляционная связь между величиной минерализации и дефицитом насыщения по отношению к сульфатным породам – при минерализации воды менее 2,1 г/дм³ вода агрессивна, при минерализации 2,1-2,4 г/дм³ наблюдается равновесие, а при минерализации более 2,4 г/дм³ вода неагрессивна.

Оценка современного химического состава и анализ процессов формирования химического состава подземных вод являются важной составляющей общей оценки карстовой опасности территории градопромышленных агломераций. Практически оценка может быть сведена к определению агрессивности подземных вод к карстующимся породам, как наиболее информативному показателю одного из обязательных условий развития карста.

Способность воды растворять карстующиеся породы является неотъемлемым условием развития карста. В связи с этим определение агрессивной способности по отношению к карстующимся породам важно для процесса инженерно-геологических изысканий, в комплекс которых входят гидрогеологические работы. Помимо этого, знать о наличии агрессивных вод необходимо с целью прогнозирования карстоопасности территории с учетом техногенного воздействия на химический состав подземных вод.

Агрессивность вод к карстующимся породам рекомендуется определять по экспериментальным лабораторным исследованиям растворимости пород (в том числе поверхности образцов пород, стенок полостей и трещин в них), результатам изучения системы равновесия «подземные воды-карстующиеся породы» с использованием (для сульфатных пород) методики В.П. Зверева (1967, 1982), реализованной в номограмме В.П. Костарева (1982), созданной с учетом осо-

бенности состава пресных и солоноватых вод, обычно встречаемых на закарстованных территориях Пермского края.

Когда содержания ионов сульфата и кальция (в миллиграмм-эквивалентном выражении) в исследуемых водах ориентировочно являются равными (не превышают разницу в 10%), определение дефицита насыщения вод сульфатом кальция X_{CaSO_4} проводится с помощью номограмм (рис. 3.1) в следующей последовательности:

– по данным химического анализа вычисляют произведения миллиграмм-эквивалентных концентраций $[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$ и сумму произведений концентраций других присутствующих в растворе ионов на их валентности:

$$\Sigma[X_i] \cdot Z_i - 2([Ca^{2+}] + [SO_4^{2-}]) = [Na^+] + 2[Mg^{2+}] + [HCO_3^-] + [Cl^-] + [K^+] \text{ мг-экв/дм}^3 \quad (1)$$

– по номограмме (рис. 3.1) определенному значению $\Sigma[X_i] \cdot Z_i - 2([Ca^{2+}] + [SO_4^{2-}])$ соответствует произведение $[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$ [мг-экв]² в насыщенном гипсом растворе. Если в исследуемом растворе произведение $[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$ [мг-экв]² равно или больше произведения, найденного по номограмме, то исследуемая проба насыщена сульфатом кальция, если меньше, то не насыщена. По вычисленной сумме произведений (правая ось ординат на рис. 3.1) и соответствующим температуре воды кривым А устанавливается (на оси абсцисс) произведение мг-эквивалентной концентрации ионов кальция и сульфат-иона в насыщенном ими растворе;

– с помощью кривой Б (по левой оси ординат) определяются содержания сульфата кальция, соответствующие произведениям в насыщенном и исследуемом растворах. По разности концентраций $CaSO_4$ определяют дефицит насыщения воды гипсом, т.е. разность между первым значением и фактическим суммарным содержанием иона кальция и сульфат-иона в мг/дм³ по данным химического анализа равна дефициту насыщения исследуемой воды сульфатом кальция.

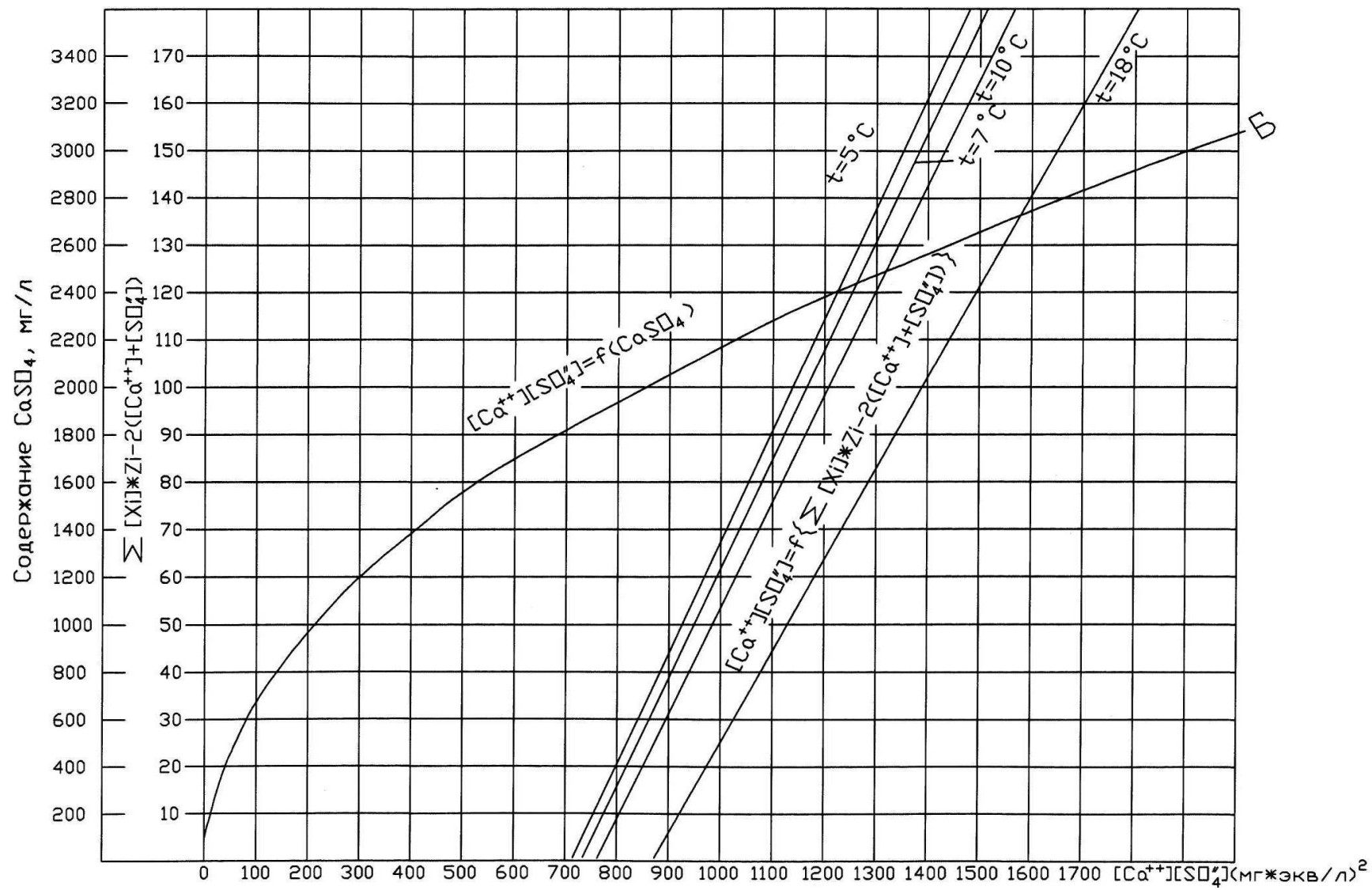


Рис. 3.1. Номограммы для определения дефицита насыщения природных вод сульфатом кальция по В.П. Звереву (1967, 1982) и В.П. Костареву (1982))

При существенном различии концентраций кальция- и сульфат-ионов степень насыщенности вод CaSO_4 рассчитывают по уравнению В. П. Зверева:

$$X_{\text{CaSO}_4} = 34[\sqrt{([Ca^{2+}]) - [SO_4^{2-}]} + 4[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] - ([Ca^{2+}] + [SO_4^{2-}])], \quad (2)$$

где X_{CaSO_4} – дефицит насыщения гипсом исследуемого водного раствора, мг/дм³;

$[Ca^{2+}]$ и $[SO_4^{2-}]$ – концентрации ионов по результатам химического анализа, мг-экв/дм³;

$[Ca^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}]$ – произведение концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} (мг-экв.)² в насыщенном растворе, определяемое по номограмме (рис. 3.1) для соответствующей температуры в зависимости от величины $\Sigma[X_i] \cdot Z_i - 2([Ca^{2+}] + [SO_4^{2-}])$, которая вычисляется по предыдущему варианту.

При инженерно-геологических изысканиях на участках Иренского, Кишертского и Нижнесыльвинского карстовых районов проявилась зависимость (рис.3.2) дефицита насыщения пресных и слабосолоноватых подземных вод сульфатом кальция от суммарного содержания иона кальция и сульфат-иона, общей минерализации (в мг/дм³) и гидрохимической фации.

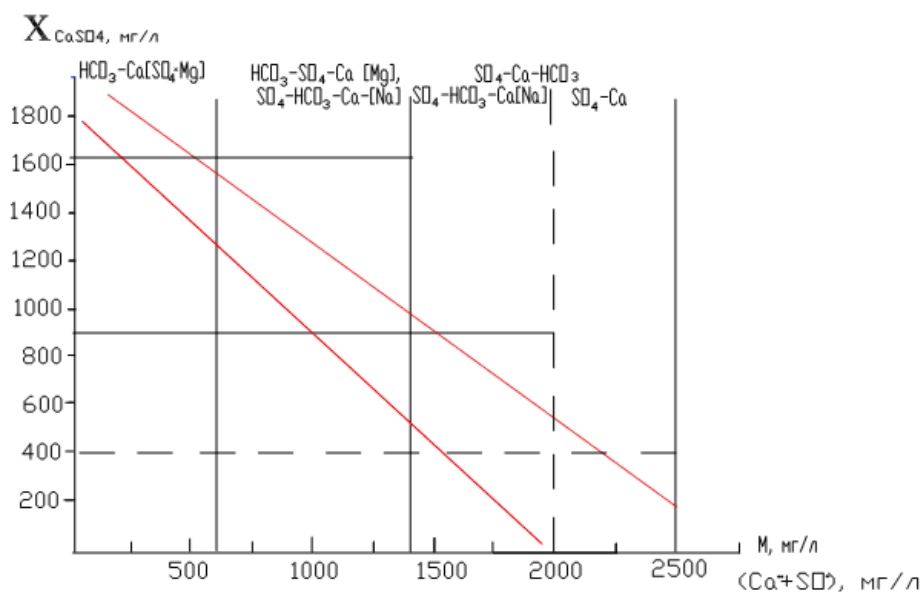


Рис.3.2. Изменение дефицита насыщения природных вод сульфатом кальция (X_{CaSO_4}) в зависимости от минерализации (M), суммарного содержания ионов Ca и SO_4 и химического состава (гидрохимической фации)

Практическое задание 3

Определение агрессивности подземных вод к карстующимся породам (дефицита насыщения подземных вод сульфатом кальция)

Порядок выполнения задания:

1. По данным обработанных результатов химических анализов подземных вод (практическое задание 2) определить наличие/отсутствие дефицита насыщения сульфатом кальция подземных вод участка по номограмме и формуле (2).

2. Сделать выводы о наличии/отсутствии агрессивных свойств воды по отношению к карстующимся породам.

Библиографический список

Горбунова К.А. Карст гипса СССР: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь, 1977. 83с.

Горбунова К.А., Запрянов В.М., Дорофеев Е.П. Закономерности изменения дефицита насыщения карстовых вод сульфатом кальция в Кунгурской пещере // Эффективные методы инженерно-геологических исследований Урала: тез. докл. Пермь, 1986. С. 67-69.

Зверев В.П. Гидрохимические исследования системы гипсы – подземные воды. М.: Наука, 1967.

Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. М.: Недра, 1982. 184с.

Климас Л.И. Определение дефицита насыщения подземных вод сульфатом кальция // Докл. БССР. Минск, 1975. Т. 19, № 1. С.37-42.

Костарев В.П. Определение дефицита насыщения природных вод сульфатом кальция при инженерно-геологических изысканиях гипсового карста // Информ.листок / Перм. ЦНТИ. Пермь, 1982.

Кузнецов А. М. О выщелачивании гипса и ангидрита //Тезисы докладов Пермской карстовой конференции. Пермь, 1947.

Лехов А.В., Лебедев А.Л. Экспериментальное исследование скорости растворения гипса. Рукопись деп. в ВИНТИ 10.06.1983, № 3243-83. 8с.

Скворцов Г. Г. О скорости развития карста в гипсах// Вопросы изучения подземных вод и инженерно-геологических процессов. М.: Изд-во АН СССР, 1955.

Список рекомендуемой литературы

Дублянский В.Н., Кадебская О.И., Лавров И.А. и др. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / под ред. докт. геол.-мин. наук В.Н. Дублянского; УрО РАН, Екатеринбург 2005. 376 с.

Маклашин А.В. Геологические условия растворения сульфатных пород: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь, 1987. 16с.

Минькевич И.И. Гидрогеологические особенности районов развития сульфатных карстующихся пород Пермского Прикамья: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь, 2003. 28с.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАРСТОВАННОСТИ

Карстовые формы (карстопроявления) – образования, сформировавшиеся на поверхности или под поверхностью земли («подземные») в результате развития карстового процесса.

Выделяют **поверхностные, подземные и переходные** образования.

Карстовые формы характеризуют следующие основные параметры: длина или протяженность (L , м); глубина (H , м); площадь (S , кв. м); объем (V , куб. м).

Для разделения форм на поверхностные и подземные в настоящее время многие исследователи используют соотношение морфометрических показателей: если ширина (b , м) или высота (h , м) формы у «входа» больше, чем её протяженность (L , м) или глубина (H , м) соответственно, то форма относится к поверхностной, а при обратных соотношениях – к подземной.

Более простое деление: если карстопроявление является формой или элементом формы наземного рельефа (ландшафта), то карстопроявление относится к наземной группе и наоборот.

Переходные формы, как правило, имеют признаки и поверхностных, и подземных карстопроявлений.

Поверхностные карстовые формы включают большинство карстопроявлений любого литологического типа карста. К ним относятся карры, рвы, ниши, воронки, котловины, поля, лога, долины, каньоны, останцы, локальные оседания, оседания (мульды), просадки.

Среди поверхностных карстовых форм наибольшее распространение имеют воронки различного генезиса – впадины на поверхности земли, имеющие блюдцеобразную, чашеобразную, коническую или цилиндрическую форму профиля. В плане воронки могут иметь изометричную, овальную, звездчатую или сложную форму. Карстовые формы регистрируют по анализу аэрокосмоснимков (рис. 4.1), а также в ходе полевой карстологической съемки, инженерно-геологической рекогносцировки.

Г.А. Максимович (1963) предложил разделять воронки по поперечным размерам в плане и по глубине. По поперечным размерам в плане: небольшие – до 5 м; обычные – 5–25 м; большие – 25–100 м; огромные – более 100 м. По глубине: мелкие – до 1 м; неглубокие – 1–5 м; обычные – 5–10 м; глубокие 10–25 м; очень глубокие – более 25 м.

Размер и форма воронок зависят от трещиноватости, слоистости, состава карстующихся и перекрывающих отложений, от местоположения в рельефе.

Выделяют несколько генетических типов воронок: выщелачивания или коррозионные; коррозионно-просадочные; коррозионно-провальные (провалы); коррозионно-суффозионные (просасывания, рис. 4.2); коррозионно-эрозионные; коррозионно-оползневые; смешанного (сложного) происхождения.

Наиболее полное описание генетических типов воронок и особенностей их образования и развития представлено в монографических работах Г.А. Максимо-вича (1963), К.А. Горбуновой и др. (1992).

Воронки часто создают скопления (поля), имеющие линейную или беспорядочную конфигурацию в плане. Смыкаясь бортами, воронки могут образовывать карстовые котловины с поперечником более 100–200 м и глубиной более 5–10 м. Котловины в виде плоских понижений, имеющие глубину 1–2 м, называются донгасами.



Рис. 4.1. Примеры визуализации карстовых воронок на аэрокосмоснимках

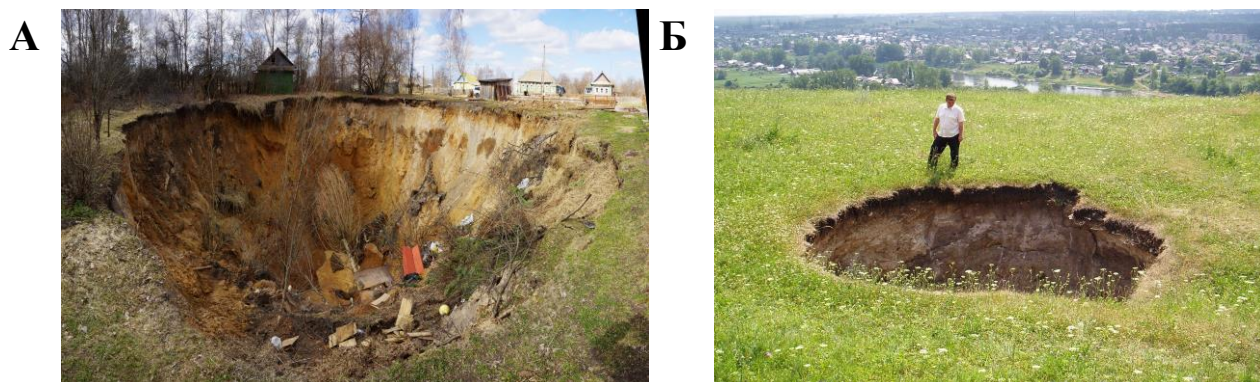


Рис. 4.2. Коррозионно-суффозионная (А) и коррозионно-провальная (Б) воронки

Из всех поверхностных форм карста наиболее опасны провалы различных генетических типов (ТСН 11-301-2004 Пермской области), возникающие порой за очень короткое время (минуты, десятки минут). Поперечные размеры провалов на закарстованных территориях колеблются в широких пределах (от 0,5 до 50 м и более), а глубины достигают нескольких сотен метров, при этом их диаметр увеличивается во времени (особенно в песчаных грунтах) в первоначальный период после образования провала. Нередко на месте ранее образовавшихся провалов (или вблизи них) возникают повторные провалы; на месте ранее образовавшихся провалов (карстовых воронок) или вблизи них возникает зона разуплотненных пород, которая под действием статических нагрузок и динамических воздействий может быть подвержена периодическим просадкам.

Эта зона характеризуется повышенной водопроницаемостью атмосферных, поверхностных и технических вод (Дублянский и др., 2011).

Как правило, сведения о поверхностных формах карста в пределах конкретной территории геолог получает в процессе изучения материалов исследований, проведенных ранее, а также по результатам дешифрирования космозаэроснимков и по результатам наземного карстологического обследования (карстологической съемки) (СП 11-105-97). Для анализа поверхностной закарстованности рекомендуется использовать количественные показатели, приведенные в табл. 4.

Таблица 4

Количественные показатели, используемые при инженерно-геологической оценке поверхностной закарстованности (по В.П. Костареву, 1979)

Показатель	Способ определения	Размерность
Плотность карстовых воронок	$\rho = \frac{N}{S}$	шт/км ² шт/1000 км ²
Площадной коэффициент закарстованности	$K_s = \frac{S_B}{S} \cdot 100$	%
Интенсивность провалообразования	$P = \frac{n}{S \cdot t}$	шт./км ² год
Периодичность образования провалов	$T = \frac{S \cdot t}{n}$	км ² год/шт.
Среднегодовая поражаемость площади карстовыми провалами	$B = \frac{S_{np}}{S \cdot t} \cdot 100$	%/год
Объемный показатель поверхностной закарстованности	$K_{vs} = \frac{V_B}{S}$	м
Среднегодовой прирост объема карстовых воронок	$v_B = \frac{V_B}{S \cdot t}$	м ³ /км ² год
Линейный коэффициент поверхностной закарстованности карстующихся пород	$K_m = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100$	%
Показатель поверхностной закарстованности карстующихся пород	$\Pi_m = \frac{K_m}{K_l}$	доли ед., ед.
Показатель глубинности карстовой воронки	$\Pi_h = \frac{h}{d}$	доли ед., ед.
Показатель формы карстовой впадины	$\Pi_\phi = \frac{h_{cp}}{S_0}$	доли ед., ед.
Обобщающий радиус гнезд и полей карстовых воронок (R)	Спец. методы	м
Радиус удаленности точек территории от карстовых воронок, провалов (R _в)	Спец. методы	м

*Примечания: N – количество карстовых воронок; S – закарстованная площадь; S_B – площадь карстовой воронки; n – количество карстовых провалов; t – время образования n провалов; S_{np} – площадь карстовых провалов; V_B – объем карстовых воронок; m_0 – полная мощность карстующихся пород; m_1 – средняя зафиксированная мощность карстующихся пород; h – глубина карстовой воронки; d – диаметр карстовой воронки; h_{cp} – средняя глубина карстовой воронки; S_0 – глубина положения центра тяжести карстовой впадины.

Практическое задание 4

Характеристика поверхностной закарстованности

Порядок выполнения задания:

1. На карте из задания 1 указаны поверхностные карстовые формы с соответствующими номерами, выписать номера карстовых форм, распространенных на участке.
2. Используя каталоги поверхностных карстовых форм (воронок и провалов, приложения 3,4), выписать параметры карстовых форм, распространенных на участке.
3. Дать качественную характеристику поверхностной закарстованности.
4. Рассчитать показатели поверхностной закарстованности, используя формулы из табл. 4.

Библиографический список

Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с.

Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н., Катаев В.Н., Костарев В.П., Толмачев В.В. Карстование. Ч. 3. Инженерное карстование: учеб. пособие / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2011. 288 с.

Костарев В.П. О количественных показателях карста и их использовании при инженерно-геологической оценке закарстованных территорий // Инженерно-строительные изыскания. М.: Стройиздат, 1979. N1(53). С.49-53.

Максимович Г.А. Основы карстования. Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь: Перм. кн. изд-во. 1963. Т. 1. 444 с.

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2001.

ТСН 11-301-2004. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области / Администрация Пермской обл. Пермь, 2004. 106 с.

Список рекомендуемой литературы

Горбунова К.А. Карстование. Вопросы типологии и морфологии карста: учеб. пособие по спецкурсу. Пермь, 1985. 88 с.

Кунгурская Ледяная пещера. Опыт режимных наблюдений / ред. В.Н. Дублянский. Екатеринбург, 2005. 375 с.

Тимофеев Д.А., Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Терминология карста. М.: Наука, 1991. 260 с.

Хоменко В.П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. М.: Наука, 1986. 96 с.

5. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЗЕМНОЙ ЗАКАРСТОВАННОСТИ

Подземные карстовые формы – это формы, расположенные ниже поверхности земли и характеризующиеся соотношением ширины или высоты меньше длины (или глубины). Инженерно-геологическое значение подземных карстовых полостей представлено в учебном пособии «Инженерное карстование» (2011). Формы, относящиеся к этой группе, весьма многообразны. В их классификациях, основанных на разных принципах, насчитывается свыше 150 видов (Тимофеев и др., 1991).

СП 11-105-97, ч. II, п. 5.1.4 к подземным карстовым формам относит расширенные растворением трещины; поры растворения (размером до 2 мм); каверны (размером от 2 до 20 мм); разнообразные полости (в том числе пещеры); разрушенные и разуплотненные зоны в карстующихся породах; поверхности растворения слоев карстующихся пород; нарушения залегания карстующихся пород в результате их сдвижения и обрушения над карстовыми полостями, разрушенными и разуплотненными зонами; воронки и другие карстовые формы погребенного палеорельефа земной поверхности (рис. 5.1).



А



Б

Рис. 5.1. Трещины и каверны в известняках, расширенные растворением (А).
Литогенетические трещины (напластования, межпластовые)
и карстовые полости, развитые вдоль них (Б)

Отметим, что не всегда разрушенные и разуплотненные зоны в карстующихся породах являются результатом карстового процесса. Они могут быть сформированы как за счет тектонического стресса при формировании пликативных или дизъюнктивных структур, так и за счет гравитационного перераспределения масс горных пород, например, в прибортовых зонах эрозионных врезов. При оценке подземной закарстованности зоны дробления или зоны разуплотнения позиционируются как места потенциально опасные в карстогенетическом отношении за счет их повышенной проницаемости, а следовательно, повышенной гидрогеологической активности. К зонам повышенной трещиноватости часто приурочены полости растворения (Катаев, 2004).

Среди подземных полостей максимальных размеров достигают пещеры, иногда образующие системы протяженностью десятки и сотни километров. Са-

мые протяженные пещеры мира: в известняках – Мамонтова (США, 579 км), в гипсах – Оптимистическая (Украина, 212 км); самые глубокие – Крубера (Абхазия, -2191 м, Мирольда (Франция, -1710 м). В США термальные напорные воды образуют объемные лабиринты в известняках: Джюел (217 км) и Винд (192 км).

Для анализа поверхностной закарстованности рекомендуется использовать количественные показатели, приведенные в табл. 5.

Таблица 5

Количественные показатели, используемые при инженерно-геологической оценке подземной закарстованности (по В.П. Костареву, 1979)

№	Показатель	Способ определения	Размерность
Линейные коэффициенты			
1	Внутренней	$K_l = \frac{\sum h_n}{\sum l} \cdot 100$	%
2	Открытой	$K_{lo} = \frac{\sum h_{оп}}{\sum l} \cdot 100$	%
3	Общей	$K = \frac{\sum h_{п} + \sum (m_0 - l)}{Cm_0} \cdot 100$	%
4	Коэффициент аномальности	$K_a = \frac{C_a}{C}$	доли ед.
Показатели плотности карстовых полостей			
5	Линейной	$\Pi_l = \frac{n_n}{0,01 \cdot l}$	шт./100м
6	Площадной	$\Pi_s = \frac{n_n}{10^{-4} S}$	шт./10 ⁴ м ²
7	Объемной	$\Pi_v = \frac{n_n}{10^{-6} V}$	шт./10 ⁶ м ³
8	Показатель линейной плотности карстовых провалов	$\Pi_l = \frac{n_n}{L}$	шт./100м
9	Коэффициент поглощения промывочной жидкости	$K_i = \frac{i}{C}$	доли ед., ед.
10	Интенсивность поглощения промывочной жидкости	-	м ³ /час·м
11	Плотность пещер	$f_c = \frac{N_c}{0,001 \cdot S}$	шт./1000км ²
12	Густота пещерных ходов	$D_c = \frac{\sum L_c}{S}$	м/км ²

*Примечания: S – закарстованная площадь; m_0 – полная мощность карстующихся пород; m_l – средняя зафиксированная мощность карстующихся пород; $V_{п}$ – объем карстовых полостей; V – объем карстующихся пород; $h_{п}$ – вертикальный размер карстовой полости; l – длина образующей керна или мощность закарстованной породы, принятая в расчет; $h_{оп}$ – вертикальный размер незаполненной карстовой полости; C_a – количество скважин, вскрывших карстовые полости; C – общее количество скважин; L_c – длина пещерной системы; N_c – количество пещер; V_c – объем пещеры.

Практическое задание 5

Характеристика подземной закарстованности

Порядок выполнения задания:

1. По данным карстологического разреза, построенного в задании 1, дать качественную характеристику подземной закарстованности (описать вскрытые полости с указанием их местоположения в карстовом массиве, определить литологическую приуроченность, характер заполнителя, гидрогеологическую активность).
2. Рассчитать показатели подземной закарстованности, используя формулы из табл. 5.

Библиографический список

Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карстование. Ч. 1. Пермь, 2004. 306с.

Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н., Катаев В.Н., Костарев В.П., Толмачев В.В. Карстование. Ч. 3. Инженерное карстование: учеб. пособие / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2011. 288 с.

Катаев В.Н. Основы структурного карстования: учеб. пособие по спецкурсу / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2004. 109 с.

Костарев В.П. О количественных показателях карста и их использовании при инженерно-геологической оценке закарстованных территорий // Инженерно-строительные изыскания. М.: Стройиздат, 1979. N1(53). С.49-53.

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2001.

Тимофеев Д.А., Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Терминология карста. М.: Наука, 1991. 260 с.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРРИТОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ

Инженерно-геологическая оценка безопасного освоения закарстованных территорий сводится к ответу на три вопроса: «Где? Когда? Как?» могут произойти деформации земной поверхности, снижающие устойчивость зданий и сооружений или исключаяющие полностью возможность их дальнейшей эксплуатации. В основном эти вопросы затрагивают необходимость получения объективных сведений о масштабах и механизме возникающих деформаций грунтовых массивов и их соотношении с конструктивными и эксплуатационными особенностями сооружений. Все стадии проектно-изыскательских работ от выбора площадки до разработки рабочей документации по конкретному объекту связаны с необходимостью решения проблем оценки устойчивости территории.

Современные нормативные документы, в частности СП 11-105-97, требуют на стадии камеральной обработки материалов инженерных изысканий осуществлять инженерно-геологическое районирование территории по условиям, степени и характеру развития карста с учетом суффозии, сдвижения и обрушения горных пород, а также других процессов, участвующих в формировании полостей, разрушенных и разуплотненных зон в карстующихся и покрывающих их отложениях.

СП 11-105-97 ч. II регламентирует использование при районировании установленных по результатам изысканий категорий устойчивости территорий по интенсивности и средним диаметрам карстовых провалов, приведенных в табл. 6, 7.

Таблица 6

Категории устойчивости относительно интенсивности провалообразования

Категории устойчивости территории относительно интенсивности образования карстовых провалов	Интенсивность провалообразования (среднегодовое количество провалов на 1 км ² территории, ед. /км ² ·год)
I	Свыше 1,0
II	Свыше 0,1 до 1,0
III	Свыше 0,05 до 0,1
IV	Свыше 0,01 до 0,05
V	До 0,01
VI*	Провалообразование исключается

*Примечание: возникновение провалов невозможно из-за отсутствия растворимых горных пород или благодаря наличию надежной защитной перекрывающей толщи.

Категория устойчивости территории относительно образования карстовых провалов обозначается двойным индексом (за исключением категории VI),

включающим римскую цифру, соответствующую параметру интенсивности, и заглавную букву, соответствующую среднему диаметру карстового провала. В пояснительной записке к оценке карстоопасности участка должны быть указаны расчетные (конкретные) значения интенсивности провалообразования и средний диаметр карстового провала, например, при интенсивности провалообразования 0,25 шт./км²·год и среднем диаметре провала 5 м территория будет обладать категорией II-B. К VI категории устойчивости относятся территории, на которых возникновение карстовых провалов невозможно вследствие отсутствия карстующихся пород или благодаря наличию мощной защитной перекрывающей толщи, представленной относительно водоупорными породами, например, глинами (по практическому опыту такая глинистая толща должна иметь мощность 40-50 м) или скальными грунтами. Необходимо отметить, что в соответствии с «Руководством по инженерно-геологическим...» (1995) если при бурении в скважинах обнаружены полости и их оконтуривание не проводилось, то, несмотря на показатель интенсивности провалообразования, рекомендуется площадь в радиусе 20-50 м от скважины относить к IV категории устойчивости и менее.

Таблица 7

**Категории устойчивости относительно средних диаметров
карстовых провалов**

Категории устойчивости территории относительно средних диаметров карстовых провалов	Средние диаметры провалов, м
А	Свыше 20
Б	Свыше 10 до 20
В	Свыше 3 до 10
Г	До 3

При этом нормативные документы не исключают использование практического опыта оценки устойчивости закарстованных территорий.

В качестве возможного примера методики оценки степени устойчивости площадок под строительство инженерных объектов предлагается опыт, полученный сотрудниками Института геологии Уфимского научного центра РАН (Абдрахманов и др., 2002).

На начальной стадии выбора площадок под строительство оценка карста может быть проведена на основе дешифрирования аэрофотоматериалов и анализа крупномасштабных (масштаб от 1:25 000 и крупнее) топографических карт.

В данном случае ограничение использования дистанционных методов оценки определено степенью открытости территории, где хорошо дешифрируются поверхностные карстопроявления. В результате дешифрирования в качестве оценочных показателей используются данные о размерах карстопоявлений в плане, их плотности (количестве) на единицу площади и закономерностях пространственного распределения относительно друг друга, а также элементов тектонического и геоморфологического строения исследуемой территории. Анализ выявленных карстовых полей – скоплений поверхностных карстовых деформаций, расстояния между которыми не превышают среднего диаметра этих деформаций, помимо коэффициента плотности карстопоявлений в пределах полей позволяет ввести показатель коэффициента локальной закарстованности – отношение суммы площадей деформаций к площади карстового поля, определяемого по внешнему контуру пространственной совокупности деформаций.

Подобные карты дешифрирования аэрофотоснимков используются для компоновки среднемасштабных карт различного назначения, в том числе и карты региональной закарстованности (масштаб 1:100 000 – 1:500 000) – степени пораженности поверхности карстовыми деформациями.

Практика свидетельствует о том, что на данном этапе используемые количественные показатели, такие как коэффициент закарстованности и коэффициент плотности карстовых деформаций, являются достаточными, но наиболее объективный показатель оценки – частота карстовых провалов в единицу времени (в год) на единицу площади (1 км^2). Проблема состоит в том, что данный показатель может быть получен, если предварительно на данной территории велись соответствующие наблюдения и был проведен соответствующий анализ информации о происходивших провалах. Подобная информация, как правило, имеется только в отдельных крайне редких случаях и при региональных исследованиях на стадии выбора площадок под строительство или стадии ТЭО использование данного показателя не представляется возможным. Вместе с тем, учитывая, что чаще всего современные карстовые провалы происходят в пределах карстовых полей, а значения коэффициентов закарстованности тесно коррелируются с частотами карстовых провалов, ведущим показателем на данной стадии является именно коэффициент закарстованности, который и используется наиболее широко в рамках задач начальной стадии оценки.

Итоговые региональные карты, помимо прочей, содержат информацию об участках, где:

- 1) строительство возможно без ограничений и, как правило, это участки за границами карстовых полей с характеристикой «относительно устойчивые»;

2) строительство возможно с применением мер противокарстовой защиты, учитывающих параметры возможных карстовых провалов. Это участки в пределах карстовых полей, включая зоны влияния карстовых полей (200-250 м от внешнего контура поля) с характеристикой «недостаточно устойчивые».

На стадии разработки проектов детальных планировок и проектов организации планирования мелких населенных пунктов, микрорайонов городов или крупных промышленных предприятий оценка степени закарстованности по внешним признакам карстопроявлений (оценка по результатам дешифрирования аэрофотоснимков и топокарт) сопровождается сведениями, получаемыми в результате

- детального маршрутного обследования участков, включая обследование состояния инженерных сооружений и опрос местных жителей о фактах возникновения и ликвидации деформаций поверхности;

- проведения геофизических (электроразведочных, сейсморазведочных и др.) работ;

- проведения различного рода горных работ (буровых, шурфовочных и др.) в комплексе с опытно-фильтрационными и (или) каротажными;

Дополнительная информация может быть получена в результате проведения физического или математического моделирования механизмов провалов, учитывающего конкретные геолого-гидрогеологические условия и техногенные факторы их образования.

Стадия предусматривает проведение крупномасштабных исследований (1:10 000 и крупнее). Соответствующие картографические и текстовые материалы отображают такие важные условия и факторы развития карста, как состав и глубина залегания карстующихся пород, состав и мощность перекрывающих отложений, степень водопроницаемости пород и отложений закарстованного массива, гидрогеологические параметры массива (уровни залегания подземных вод, направления и скорости их движения, градиенты фильтрации, степень химического насыщения).

Выявляемые закономерности пространственного изменения интенсивности провалообразования и коэффициента закарстованности должны быть положены в основу схематизации устойчивости территории по степени карстоопасности. Все остальные геолого-гидрогеологические параметры, определяемые в процессе крупномасштабных работ (горнопроходческих, геофизических и др.), при составлении окончательной карты районирования являются дополнительными. По сути дела, результирующим документом, характеризующим оценку устойчивости карстового массива, является его объемная статическая модель, содержащая не только карту, но схемы и разрезы, отражающие особенности геолого-геофизического и гидрогеологического состояния массива по вертикали.

На стадии рабочей документации ситуации в пределах карстоопасных территорий определяемые качественно-количественными показателями проявления условий и факторов развития деформаций должны быть уточнены – доведены до количественных параметров, ранжирующих степень устойчивости конкретных инженерных объектов, которые можно использовать при инженерном проектировании этого объекта.

Инженерно-геологическая практика предусматривает процесс зонирования (типизации) карстоопасной территории – выделения участков, где представленные параметры могут быть усреднены и где условия инженерного освоения территории соответствуют определенной усредненной категории. Как правило, это территории, где риск возникновения карстовых деформаций повышен.

Основной набор показателей, применяемых на различных стадиях оценки, приведен в табл. 8. Методика предполагает разделение состояния массива по степени устойчивости на пять категорий.

Таблица 8

**Признаки и критерии оценки закартованных территорий
по категориям устойчивости (по Абдрахманову и др., 2002)**

№ п/п	Признаки	Категории устойчивости				
		I	II	III	IV	V
I. На стадии предпроектной документации						
1	Среднегодовое количество карстовых провалов на 1 км²	> 1,0	1,0 – 0,1	0,1 – 0,05	0,05 – 0,01	< 0,01
2	Коэффициент закарстованности, ед.	> 1,0	1,0 – 0,1	0,1 – 0,05	0,05 – 0,01	< 0,01
3	Плотность карстовых воронок, шт./км²	> 100	100 - 10	10 - 1	1,0 – 0,1	0,1 – 0,01
4	Удаленность от ближайшего карстопроявления, м	Сам провал	Древние воронки, один диаметр от провала	< 100	100 - 250	> 250
5	Глубина залегания карстующихся пород по данным бурения и геофизики, м:					
5.1	трещиноватых и кавернозных	< 35	< 35	35 - 50	45 - 65	> 60
5.2	монолитных	До 100	До 100	50 - 70	55 - 75	> 60
6	Наличие коррелируемых зон высоких градиентов	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет
II. На стадии проекта (районирование закарстованных территорий по категориям устойчивости)						
1-6	Все признаки соответствующих категорий устойчивости на стадии предпроектной документации					
7	Наличие подземных форм карста в карстующейся толще и их характер по данным:					
7.1	бурения	Открытые и заполненные полости	-	Заполненные, реже открытые полости	Заполненные каверны	Трещины, каверны
7.2	геофизических исследований, в том числе	-	-	Реже открытые полости	Каверны	Каверны
	по параметру n, %	≥ 50	≥ 50	30 - 50	20 - 30	< 20

№ п/п	Признаки	Категории устойчивости				
		I	II	III	IV	V
8	Наличие водоупоров в перекрывающей толще					
8.1	мощность водоупора, м	Отсутствует или не более 1-2	-	Маломощные 5–20	Выдержанные 15–30	Преимущественно водоупорные
9	Содержание пород, подверженных суффозии, %	> 30	-	20–35	10–25	10
10	Наличие и мощность известково-доломитовой муки, м	> 0,5	-	0,5–0,2	0,2	нет
11	Загипсованность (содержание сульфатов в породах перекрывающей толщи), %	> 20	-	20–10	10–5	< 5
12	Наличие тектонических деформаций в разрезе, например, по:					
12.1	искаженности кривых ВЭЗ	Сильной	-	Заметной	Слабой	Нет
13	Степень нарушенности карстующихся пород по признакам:	Интенсивная	-	Значительная	Заметная	Слабая
13.1	удельный коэффициент трещиноватости, шт./м	> 10	-	10–5	5–1	< 1
13.2	зоны аномалий по $R_t < 0$ (в % к площади изысканий)	100	70–100	50–70	30–50	< 30
13.3	аномальные зоны по S (продольная проводимость по отношению к средней)	Уменьшение в 2–3 раза	-	Уменьшение в 1,5 раза	-	Нет
13.4	наличие сейсморазведочных аномалий по МПВ. Искажение волновой картины (ИВК)	Явные	-	Заметные	Слабые	Нет
13.5	размеры каверн по стволу скважин, см	> 10	-	5–10	2–5	< 2
14	Степень расчлененности кровли карстующихся пород (п, ед. и ΔH , м на 100м)	> 3 и > 20–30	-	2 и 10–20	1 и 5–15	0 и 5–10
15	Вертикальный градиент фильтрации, наличие восходящих (нисходящих) потоков карстовых вод:					
15.1	по бурению (ед.)	> 6	-	6 - 2	2 - 1	< 1
15.2	по методу естественного поля (интенсивность аномалий U)	Интенсивные	-	Заметные	Слабые	Нет
16	Гидравлический градиент, ед.	> 0,01	-	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
17	Коэффициент фильтрации, м/сут	> 50	-	50–25	25–5	< 5
18	Агрессивность карстовых вод (гипсовая емкость, г/дм ³)	> 1,5	-	1,5–1,0	1,0 – 0,3	< 0,3
19	Скорость подземной денудации, м ³ /км ² в год	> 150	-	150–100	100–50	< 50
20	Количество аномальных точек по комплексу методов, %	100–70	-	60–35	35–10	25–5

№ п/п	Признаки	Категории устойчивости				
		I	II	III	IV	V
III. На стадии рабочей документации (зонирование по степени карстовой опасности)						
	Основные признаки, определяющие степень карстовой опасности	Зона А		Зона В	Зона С	
1-20	Все признаки соответствующих категорий, определенные на предыдущих стадиях					
(7)	Характеристика подземных карстовых форм, вскрытых при бурении	Открытые полости		Заполненные полости	Зоны трещиноватости и квернозности	
21	Удаленность от карстовых полостей	Сама полость		До одного диаметра	Более одного диаметра	
22	Линейный коэффициент внутренней закарстованности	> 25		25–5	< 5	
23	Время достижения критических размеров полостями (по сравнению с амортизационным сроком службы сооружения)	Меньше		Соизмеримо	Многократно превышает	
24	Ширина полости, м	> 20		20–5	< 5	
25	Коэффициент устойчивости сводов, 2 в/н	> 6		6–1	< 1	
26	Наличие аномалий по методу заряда и МЗК	Локальные интенсивные		Заметные	Слабые, отсутствуют	
27	Наличие сейсморазведочных аномалий по методу ВСП (уменьшение V_p в %, ИВК)	40–50, интенсивные		40–20, заметные	< 20, слабые	
28	Наличие локальных аномалий Δq по микрогравировке	Интенсивные локальные		Заметные локальные	Слабые, отсутствуют	
29	Наличие эманационных аномалий	Интенсивные локальные		Заметные локальные	Слабые, отсутствуют	
30	Активность карстового процесса в гипсах, %	> 10		10 - 3	< 3	

Практическое задание 6

Определение категории устойчивости участка относительно провалообразования

Порядок выполнения задания:

1. Проанализировав карту и карстологический разрез участка (задание 1) выполнить карстологическое районирование.
2. По данным количества и параметров поверхностных карстовых форм определить категорию устойчивости каждого выделенного участка по интенсивности провалообразования и среднему диаметру провалов.
3. Вынести индекс территории на геологическую карту и карстологический разрез.

Библиографический список

Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рождественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И. Карст Башкортостана/ Уфимский научный центр РАН, Институт геологии. Уфа, 2002. 383 с.

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2001.

Список рекомендуемой литературы

Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск: Наука, 1992. 144с.

Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования: учебное пособие по спецкурсу / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2001. 85с.

Катаев В.Н. Основы создания системы мониторинга закарстованных территорий (на примере Пермского края) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2013. С. 25-41.

Ковалева Т.Г. Методические основы оценки карстоопасности на ранних стадиях прогноза устойчивости территорий (на примере развития карбонатно-сульфатного карста Предуралья): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2015. 21с.

Саваренский И.А., Миронов Н.А. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста/ ПНИИС. М., 1995. 167 с.

Щербаков С.В. Интегральная оценка карстоопасности районов развития карбонатно-сульфатного карста на примере Среднего Предуралья: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2013. 24с.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ДИАМЕТРА КАРСТОВОГО ПРОВАЛА

Наиболее опасными и негативными проявлениями карстового процесса для оснований зданий и сооружений являются провалы. Как было сказано выше, в соответствии с нормативными документами при оценке карстоопасности территории необходимо устанавливать средний диаметр карстового провала. Средние диаметры могут быть определены по существующим карстовым формам, но в условиях урбанизированной территории карстовые формы могут отсутствовать на поверхности (быть засыпаны), а материалы о их наличии могут не сохраниться при отсутствии организованного карстомониторинга. Кроме того, карстовые провалы со временем, как правило, увеличиваются в размерах, стенки их выполаживаются, глубина уменьшается, в связи с чем определение среднего диаметра по существующим карстовым формам может давать несколько завышенные результаты, которые могут повлечь за собой удорожание строительства. В связи с этим в практике широко используются расчетные методы определения диаметра карстового провала.

В настоящее время предложены десятки расчетных методов, опирающихся на различные гипотезы горного давления (представление о массиве горных пород как сплошной упругой, сплошной пластически деформируемой или сыпучей несвязной среды, Панюков, 1978). Формирование провалов определяется особенностями строения закарстованных территорий, а выбор расчетных схем и применение того или иного метода расчета зависят от литологии карстующихся пород (карбонатные, сульфатные, соляные); типа карста по характеру перекрывающих отложений (открытый, покрытый, перекрытый, перекрыто-покрытый), их строения (однослойное, двухслойное, трехслойное) и водопроницаемости (водопроницаемые, слабоводопроницаемые, водонепроницаемые); гидрогеологических условий (однопластовое, двухпластовое строение, условия залегания карстовых вод (безнапорные, напорные); положение уровня карстовых вод относительно надкарстовых) (Дублянский и др., 2010).

Расчетных схем для определения размеров провалов в открытом карсте немного. Обычно используется *круглоцилиндрическая модель Г.М. Шахунянца* (1953). Она исходит из условия, что мощность неразрушенных карстующихся пород от свода полости до поверхности меньше мощности, при которой грунт выдерживает собственный вес и внешнюю нагрузку. Условие предельного равновесия имеет вид

$$(G + G_{\text{п}}) - (F_c + F_f) = 0, \quad (7.1)$$

где G – вес цилиндра грунта над сводом полости, G_n – нагрузка от сооружения, F_c и F_f – силы сцепления и трения, возникающие на боковой поверхности цилиндра.

Модель Шахунянца предусматривает постепенный рост полости за счет растворения ее стенок и формирование над ней продвигающегося вверх эллиптического свода обрушения. При достижении им предельной глубины h_0 происходит сдвиг грунта и формируется провал.

Условие предельного равновесия относительно диаметра провала d_0 имеет следующее решение:

$$d_0 = 2 \cdot (2c \cdot h_0 + \gamma \cdot h_0^2 \cdot N \cdot \operatorname{tg} \varphi - 2c \cdot h_0 \cdot M \cdot \operatorname{tg} \varphi) / (p_0 + \gamma \cdot h_0), \quad (7.2)$$

а при отсутствии внешней нагрузки ($p_0 = 0$)

$$d_0 = 2 \cdot (2c + \gamma \cdot h_0 \cdot N \cdot \operatorname{tg} \varphi - 2c \cdot M \cdot \operatorname{tg} \varphi) / \gamma, \quad (7.3)$$

где h_0 – высота цилиндра, c , φ , γ – средневзвешенные по глубине удельное сцепление, угол внутреннего трения и удельный вес грунта, p_0 – равномерно распределенная по площади $\pi d_0^2 / 4$ нагрузка, эквивалентная действующей нагрузке G_n , N и M – расчетные коэффициенты, определяемые по формулам

$$N = (1 - \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi) / (1 - \operatorname{tg}^2 \varphi + 2 \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \quad (7.4)$$

$$M = (2 \operatorname{tg} \beta + \operatorname{ctg} \beta - \operatorname{tg} \varphi) / (1 - \operatorname{tg}^2 \varphi + 2 \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi), \quad (7.5)$$

$$\text{где } \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \varphi + [0,5(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)]^{0,5}, \quad (7.6)$$

$$\gamma = \rho \times g, \quad (7.7)$$

где ρ – плотность грунта, г/см³; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 г/см².

Рассмотренная модель послужила основой для многих последующих разработок. Однако в каждом типе карста механизм провалообразования будет отличаться (рис. 7.1), соответственно выбранная расчетная схема должна учитывать механизм провалообразования, что требует дополнительных уточнений и расчетов. В настоящее время предложено несколько вариантов расчетных схем (Толмачев, Хоменко и др. (1989, 1990, 2003), Троицкий...). В связи со сложностью расчетов они выполняются только на компьютере, а иногда с использованием специального программного обеспечения.

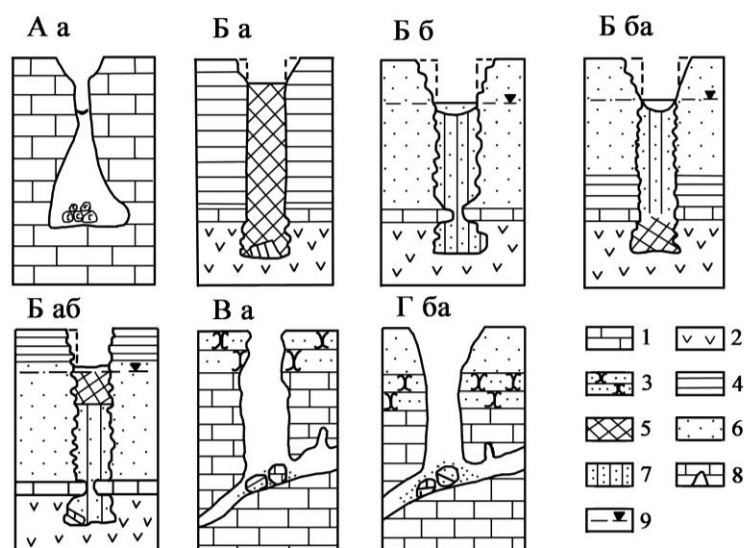


Рис. 7.1. Механизм развития провалов в карсте разных типов.

Типы карста: А – открытый, Б – покрытый, В – перекрытый, Г – перекрыто-покрытый. Механизмы развития провалов: а – гравитационный, б – суффозионный; ба – суффозионно-гравитационный; аб – гравитационно-суффозионный. Породы: 1 – известняки; 2 – гипсы; 3 – песчаники; глины: 4 – в коренном залегании, 5 – в смещенном залегании; пески: 6 – в коренном залегании, 7 – в смещенном залегании; 8 – карстовая полость, кавернозная или закарстованная зона; 9 – уровень надкарстовых вод

Практическое задание 7

Определение расчетного диаметра карстового провала

Порядок выполнения задания:

1. По данным колонок карстологических скважин и приложения 5 определить расчетный пролет карстового провала для каждой скважины по вышеприведенным формулам. При этом в расчетах свойства перекрывающих отложений следует принимать как средневзвешенные по мощностям.
2. Определить средний расчетный диаметр карстового провала.
3. Сравнить значения средних диаметров, полученных по зафиксированным карстовым формам и расчетным методом.
4. Скорректировать категорию устойчивости территории (при необходимости и обоснованности).

Библиографический список

Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н., Катаев В.Н., Костарев В.П., Толмачев В.В. Карстоведение. Ч. 3. Инженерное карстоведение: учеб. пособие / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2011. 288 с.

Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстоведение. М.: Недра, 1990. 151 с.

Список рекомендуемой литературы

Кутепов В.М. Оценка устойчивости закарстованных территорий методом анализа напряженного состояния массивов пород: обзор и рекомендации/ ЦП НТГО. М., 1986. 69 с.

Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. 216 с.

Хоменко В.П. Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: матер. Международного симпозиума / под ред. В.Н. Катаева, Д.Р. Золотарева, С.В. Щербакова, А.В. Шиловой; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. С. 50-60.

8. ОСВОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ И ПРОТИВОКАРСТОВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Под инженерной защитой закарстованных территорий, зданий, сооружений на них понимается комплекс конструкций (устройств) и мероприятий, направленных на предупреждение негативного воздействия карста и сопутствующих ему опасных геологических (в первую очередь суффозионных и гравитационных) процессов на объекты исследования и защиту от их последствий (ТСН 11-301-2004 По).




Противокарстовая защита должна исключить или свести до минимума угрозу жизни и здоровью людей и возможность катастрофических разрушений (необходимое условие), обеспечить целесообразность (в первую очередь рентабельность) строительства с учетом возможного экономического ущерба от карстопроявлений и расходов на специальные изыскания и противокарстовые мероприятия (достаточное условие) и гарантировать экологическую безопасность территории (дополнительное условие) (ТСН 11-301-2004 По). При этом в зависимости от категории устойчивости относительно образования карстовых провалов территории делятся на группы по функциональному назначению и рекомендуемому характеру застройки (табл. 9).

Таблица 9

Рекомендации по строительному освоению закарстованных территорий в зависимости от категорий устойчивости (ТСН 11-301-2004 По)

Группа территорий по функциональному назначению	Категории территорий по среднему диаметру (d) карстовых провалов, м	Категории закарстованных территорий по интенсивности карстовых провалов				
		I	II	III	IV	V
Селитебные территории (кроме площадей зелёных насаждений общего пользования), территории промышленных зон, территории размещения магистральных железных дорог, аэродромов, автовокзалов и т.п.	A ($d > 20$)					
	Б ($d > 10 \div 20$)					
	В ($d > 3 \div 10$)					
	Г ($d \leq 3$)					
Территории зон коммунально-складских и внешнего транспорта	A ($d > 20$)					
	Б ($d > 10 \div 20$)					
	В ($d > 3 \div 10$)					
	Г ($d \leq 3$)					
Территории санитарно-технических устройств, питомников, кладбищ и т.д. (кроме полигонов захоронения отходов)	A ($d > 20$)					
	Б ($d > 10 \div 20$)					
	В ($d > 3 \div 10$)					
	Г ($d \leq 3$)					

Условные обозначения:

	—	строительство, как правило, не рекомендуется
	—	строительство допускается при соответствующей противокарстовой защите
	—	строительство допускается преимущественно без ограничений

Противокарстовые мероприятия делятся на группы:

- архитектурно-планировочные;
- геотехнические;
- водозащитные;
- конструктивные;
- эксплуатационные.

Таблица 10

Рекомендуемый характер застройки и противокарстовых мероприятий в зависимости от категории устойчивости территорий и среднего диаметра (категории Б, В) карстовых провалов (ТСН 11-301-2004 По)

Уровень ответственности зданий и сооружений (по ГОСТ 27751)	Категории закарстованных территорий по интенсивности карстовых провалов				
	I	II	III	IV	V
I	НР	НР	НР ^о	ПКМ ^о	ПКМ ^г
II	НР	НР ^о	ПКМ ^о	ПКМ ^г	ПКМ ^и
III	ПКМ ^о	ПКМ ^г	ПКМ ^и	ПКМ ^п	ПКМ ^п

Условные обозначения:

НР – строительство, как правило, не рекомендуется;

НР^о – строительство зданий и сооружений не рекомендуется, допускается в порядке исключения при наличии специального обоснования целесообразности строительства и возможности надежной защиты;

ПКМ^о – строительство зданий и сооружений допускается при обосновании с применением противокарстовых мероприятий;

ПКМ^г – строительство допускается с применением противокарстовых мероприятий, в том числе геотехнических и (или) конструктивных;

ПКМ^и – строительство допускается с применением профилактических и минимально необходимых других (включая конструктивные) противокарстовых мероприятий в зависимости от результатов инженерных изысканий;

ПКМ^п – строительство зданий и сооружений допускается с применением профилактических (как правило, водорегулирующих, направленных на предотвращение техногенной активизации карста и не требующих специальных затрат) и, возможно, эксплуатационных мероприятий.

Архитектурно-планировочные мероприятия подразумевают рациональное расположение объекта строительства: за пределами существующих поверхностных и подземных карстовых форм, на более устойчивых участках, регулирование высотности и плотности застройки (Дублянский и др., 2011).

Геотехнические мероприятия включают мелиорацию как карстующихся, так и перекрывающих отложений, и направлены на повышение прочностных и деформационных свойств грунтов. Мелиоративные мероприятия в карстующейся толще содержат несколько видов: *снятие грунта, укрепление кровли полостей, обрушение кровли полостей, заполнение инертными материалами, закрепление заполнителя полостей, заполнение ослабленных зон и полостей*

тампонажными растворами. В перекрывающей толще в зависимости от особенностей пород (сцементированные или несцементированные, сухие или обводненные пески, пески с прослоями глин, щебенка и пр.) применяются несколько видов мелиорации: *уплотнение, заполнение поверхностных форм, инжектирование воды, цементация и глинизация, закрепление оснований сооружения сваями, применение армированного грунта, устройство деформационных канав.*

Водозащитные мероприятия направлены на контроль за поверхностным и подземным стоком, включают мероприятия по организации стока поверхностных вод (основная цель – отвод поверхностных, как правило, агрессивных вод с участка строительства), рациональное размещение объектов с мокрым технологическим циклом (с целью исключения процесса подтопления территории), уменьшение утечек из водонесущих коммуникаций, предотвращение утечек и сброса бытовых и промышленных вод в карстовые массивы. Кроме того, производится воздействие на подземные воды (надкарстовые и карстовые). К ним относятся предотвращение конденсации, контроль за уровнями надкарстовых вод, поскольку изменение напора приводит, как правило, к активизации карстово-суффозионных процессов; регулирование водопритока карстовых вод (создание горизонтальных или вертикальных цементационных завес); регулирование водоотбора карстовых вод и т.д.

Конструктивные мероприятия, как правило, относятся к сфере ответственности проектирования, это специальные конструкции фундаментов; монолитное или сборно-монолитное решение; увеличение площади опирания и развитие фундамента за пределы сооружения; использование горизонтальных связей и подпруг; кустов висячих свай и ростверков; глубоких опор.

Эксплуатационные мероприятия включают контрольные мероприятия на земной поверхности и в массиве горных пород. Первые включают в себя устройство разнообразных маяков на зданиях и сооружениях, вторые – установку глубинных грунтовых марок в покровной толще, создание систем линейной и площадной сигнализации. К этой же группе мероприятий относится организация специального карстомониторинга.

Практическое задание 8

Рекомендации по освоению участка и противокарстовым мероприятиям

Порядок выполнения задания:

1. На основе установленной категории устойчивости территории относительно провалообразования рекомендовать характер застройки участка.
2. Дать рекомендации по противокарстовой защите при строительстве жилого пятиэтажного дома, рекомендовав его местоположение в пределах исследуемого участка.

Библиографический список

Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н., Катаев В.Н., Костарев В.П., Толмачев В.В. Карстоведение. Ч. 3. Инженерное карстоведение: учеб. пособие / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2011. 288 с: ил.

Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстоведение. М.: Недра, 1990. 151 с.

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2001.

Список рекомендуемой литературы

ТСН 11-301-2004 По. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области / Администрация Пермской обл. Пермь, 2004. 106 с.

ТСН 22-304-2006 Пк. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края/ Администрация Пермской обл. Пермь, 2005. 46 с.

9. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРСТОВЫХ МАССИВОВ

В общеупотребимом смысле «массив» [< фр. *massif* – тяжеловесный < лат. *massa* – ком, кусок] – большое пространство чего-либо, однородного по типу. В геологии признак однородности массивных тел был дополнен стабильностью и под «массивом», как трактует «Геологический словарь» (1973), (преимущественно в геотектонике) подразумевается жесткая, относительно древняя, стабилизированная структура дислокационного или ненарушенного сложения. Однородность в данном случае подразумевает степень тектонической дифференциации, но не состав. Границами тектонических массивов, как правило, являются разрывные нарушения, а сами массивы – тектоническими образованиями регионального или глобального уровней (например, остаточный массив, срединный, платформенный).

В определениях механики скальных пород и горной геомеханики – дисциплин, тесно связанных с инженерным освоением геопространства, и в определении, приведенном в «Горной энциклопедии» (1987), «массив горных пород» трактуется как участок земной коры, характеризующийся общими условиями образования и определенными инженерно-геологическими свойствами слагающих его горных пород. При этом свойства пород определяются особенностями их залегания, степенью нарушенности, структурой, текстурой, показателями напряженно-деформационного состояния и наличием экзогенных процессов. Размеры массива, его условные границы находятся в зависимости от конкретных задач, решаемых той или иной прикладной наукой. Так, в горном деле «массив горных пород» – участок развития физико-механических явлений и процессов в результате воздействия естественных или искусственных факторов при ведении горных работ, а также при возведении инженерных сооружений.

Инженерно-геологическая интерпретация массива горных пород, несмотря на фундаментальность, не нашла отражение в геологических словарях, вероятно, по причине неоднозначности трактовок, наличия двух подходов к рассмотрению этого понятия. В одном случае массив определяется как естественное геологическое тело, существующее независимо от инженерных объектов (Голодковская, Шаумян, 1974). В другом случае массив определен как часть земной коры, находящаяся в сфере инженерного воздействия (Панюков, 1978).

Терминологические сочетания «карстовый массив», «карстующийся массив» и «массив карстующихся горных пород» в карстоведении, как и в инженерной геологии, при изысканиях на территориях развития растворимых пород используются достаточно широко.

Понятие «карстовый массив» является ключевым в построении теоретической модели карста. С этим понятием неразрывно связаны и другие, производ-

ные от него и в то же время наделенные собственным самостоятельным содержанием, например, такие как «элементы карстового массива», «эволюция карстового массива», «вертикальная гидродинамическая зональность карстового массива», отражающие закономерности карстопроявлений.

Несомненно, что карстовый массив является частью геологической среды, наделенной ее фундаментальными свойствами, такими как изменчивость, неоднородность, дискретность, организационность.

Изменчивость массива отражает его способность к эволюции, развитию. Данное свойство имеет пространственно-временной аспект и изучается в рамках различных направлений карстоведения: в физическом времени – инженерным карстоведением, в геологическом времени – региональным карстоведением.

Способность массива к изменчивости порождает его неоднородность или различия физико-механических, водных и других свойств пород в разных точках массива.

Результатом развития массива является и его дискретность, выраженная пористостью, пустотностью, трещиноватостью, тектонической нарушенностью слагающих его горных пород.

Массив карстующихся пород – геосистема, стремящаяся к морфологическому, гидродинамическому и гидрохимическому балансу с меняющимися условиями. В случае дисбаланса происходит активизация экзогенных (в том числе и карстовых) явлений или прекращение существования некоторых из них.

По определению Г.К. Бондарика (1981) геологическими называются системы, элементы которых полностью или в основном представлены твердыми, жидкими или газообразными компонентами геологической среды. В качестве геосистемы правомерно рассматривать любую часть геологической среды в соответствии с конечной целью решаемой задачи. Карстовый массив не является в данном случае исключением.

Карстовый массив, являясь геологической системой, обладает конкретной структурой (набором элементов и их взаимодействий), имеющей пространственно-временной характер. Как и все геосистемы, карстовый массив – динамичная система, поскольку его структура не является жесткой, не меняющейся со временем. В зависимости от эволюционного этапа данная система может находиться в состоянии равновесия (установившегося режима), быть консервативной (захороненной) или активной (приповерхностной, открытой). Активность системы в конкретном случае определяется многими факторами, но основным является тектонический режим территории, выводящий карстующиеся породы в ту или иную гидродинамическую зону.

Применение понятия «геосистема» к карстовому массиву – это признание его органической целостности, структурно-функционального единства, которое в свою очередь может быть исследовано методами системного анализа.

В системном анализе исследуемый объект должен быть охарактеризован с позиций его строения, свойств и движения (Катаев, 2004).

В табл. 11 представлен перечень сведений, которые необходимо получить при создании полной геологической характеристики карстового массива.

Таблица 11

Сведения о карстовом массиве как о геосистеме

Группа сведений	Перечень сведений
А. Структура, пространственное соотношение элементов	а) Расположение и сочетание разноуровневных геологических тел в различных геоструктурных обстановках; б) строение и дислоцированность геологических тел (сочетание карстующихся и некарстующихся пород, их залегание, пространственное соотношение пликативных, дизъюнктивных и карстовых элементов - закономерности распределения и история развития); в) гидрогеологические характеристики геологических тел (типы коллекторов, их сочетание, характер обводненности, гидродинамическая зональность); г) геоморфологический облик (элементы карстового рельефа, их пространственное соотношение и парагенезис, соотношение элементов карстового и других форм рельефа)
Б. Свойства	а) Литологический состав карстующихся пород, их структурно-текстурные особенности и свойства; б) литологический состав перекрывающих и вмещающих пород (отложений), их свойства; в) компонентный состав, минерализация, температура поверхностных и подземных вод и гидрофлюидов
В. Движение (процессы, явления)	а) Карстовые, карстово-суффозионные, суффозионные и другие сопутствующие процессы и явления природного, природно-техногенного и техногенного происхождения на поверхности и внутри геологических тел

В качестве примера характеристики карстового массива приведем описание участка, приуроченного к западному крылу Центральной Кизеловской антиклинали Западно-Уральской зоны складчатости (Катаев, 2001).

Структурно-тектонические условия исследуемого участка достаточно сложны – непосредственно через участок проходит зона Басковского надвига, а с востока территория ограничена Журавлинским надвигом. По данным дешифрирования аэрофотоснимков в региональном плане участок расположен в пределах тектонического блока, простирающегося с юго-запада на северо-восток. В гипсометрическом отношении блок опущен относительно соседнего северного блока.

Карстующиеся породы и перекрывающие отложения. В пределах участка интенсивно закарстованы карбонатные породы турнейского яруса каменноугольной системы, представленные частично окремненными известняками от

серого до черного цвета, от скрыто- до крупнокристаллической структуры, в различной степени трещиноватыми. Трещины заполнены глинистым материалом или кальцитом. Фрагментарно поверхность известняков представлена выветрелыми и сильновыветрелыми разностями (рухляками). В пределах участка известняки полностью покрыты делювиально-элювиальными грунтами четвертичного возраста. Их литологический состав территориально изменчив и представлен глыбово-щебенистыми и дресвяными грунтами с глинистым, суглинистым или доломитовомучнистым заполнителем.

Гидрогеологическая обстановка. Учитывая гипсометрическое положение тектонических блоков, закономерно допустить, что в региональном плане существует переток подземных трещинно-карстовых вод с северо-запада на юго-восток перпендикулярно простиранию блоков. В локальном плане переток происходит по зонам трещин, сопровождающих внутриблоковые разломы, что приводит к расширению приразломных трещин и формированию карстово-суффозионных воронок и карстово-эрозионных логов в четвертичных отложениях. Верхняя часть пород в геологическом разрезе до 90 м в глубину не имеет постоянного водного уровня и относится к гидродинамической зоне вертикальной нисходящей циркуляции с рассеянным инфильтрационным и сосредоточенным (через поноры) инфильтрационным сезонным питанием. Относительно постоянный уровень трещинно-карстовых вод устанавливался в различные годы на глубинах от 50 до 90 м, что соответствует абсолютным отметкам 140–180 м. Севернее и северо-восточнее площади участка установившийся уровень подземных вод соответствует отметкам 160–200 м.

Затрудненная инфильтрация атмосферных осадков через четвертичные отложения обуславливает появление верховодки на глубинах 0,5–4,0 м в периоды интенсивного снеготаяния или продолжительных дождей.

Карстовые формы. Кизеловский район карбонатного карста, к которому относится участок, в целом характеризуется широким развитием поверхностных и подземных карстовых форм: воронок с понорами, логов, полостей и пещер. Междуречье рек Костанок и Капюшка (левые притоки р. Чаньвы), на котором расположен участок, в карстологическом отношении не является исключением.

Последовательное, геологически длительное развитие структурно-тектонических элементов массива отразилось на особенностях рельефа кровли турнейских известняков, а также на особенностях распределения делювиально-элювиальных отложений и закарстованности относительно форм рельефа карстующейся толщи*.

Примечание*. *Весьма полезным с позиции анализа распределения карстовых форм является построение карты рельефа закарстованной толщи*

с нанесенным положением поверхностных и подземных карстовых форм и зон трещиноватости (дробления) пород, выявленных при бурении.

Поверхностные формы карста. Интенсивное развитие поверхностных форм – карстово-суффозионных воронок численностью 54 штуки на 0,5 км² территории участка – генетически связано с процессом вымывания глинистого и суглинистого материала в межглыбовое пространство рухляковой зоны и в порово-каверно-трещинное пространство известняков. В отдельных случаях воронки являются результатом заполнения карстовых полостей. Согласно морфометрическому показателю (отношение глубины воронки к ее диаметру) из 54 воронок 13 (24%) относительно свежие ($h/d=0,3$). Все они расположены над склонами останцов и линейными депрессиями кровли известняков.

Фактический материал по проведенным проходческим работам, территориальная привязка карстопроявлений и нанесенная на карту фактического материала кровля известняков в изолиниях высотных отметок, дают представление о соотношении карстовых форм и элементов погребенного рельефа. Поля воронок развиты в четвертичных отложениях над понижениями рельефа кровли известняков. Относительно максимальные диаметры (от 10–12 до 23 м) зафиксированы у тех воронок, которые расположены над интенсивно выветрелыми известняками. Мощность четвертичных отложений контролирует интенсивность воронкообразования: с уменьшением мощности интенсивность поверхностных карстопроявлений возрастает, но не повсеместно, а только над линейными отрицательными формами рельефа вне зависимости от литологии покрова.

В покровах, расположенных над рельефом кровли известняков выше отметки 267 м (над вершинами останцов), воронки не образовались, хотя именно над останцами толщина покрова минимальна.

Подземные формы карста. Подземные карстовые полости вскрыты скважинами 112, 45, 16 и 9 в интервале глубин от 11,0 до 46,0 м. Полости заполнены плотной глиной со щебнем и дресвой, аргиллитоподобной глиной, песком. Вертикальные размеры встреченных полостей изменяются от 0,10 до 2,0 м. Практически все полости, встреченные при бурении, расположены в линейных меридионально ориентированных коррозионно-эрозионных депрессиях погребенного рельефа.

Относительно максимальные по вертикали размеры (скв.16, инт.11,0–13,0м и скв.112, инт.18,0–19,0 м) характерны для полостей, расположенных в осевых частях линейных депрессий. На склонах депрессий вертикальные размеры полостей уменьшаются до 0,2–0,4 м (скв.45, инт.19,0–19,2 м; 37,0–37,4; скв.9, инт.17,3–17,5 м).

Структурно-текстурное сложение коренных пород неравномерно по распределению и оказывает контролирующее влияние на заложение, развитие и распределение карстовых форм. Осевые зоны линейных понижений кровли известняков сложены средне- и крупнокристаллическими, кавернозными, сильнотрещиноватыми разностями. Заполнителями трещин являются кальцит и глина (линия скважин 16–112).

Структурно-текстурные особенности известняков, характерные только для осевых частей линейных депрессий, дают основание предполагать унаследованную гидрогеологическую активность данных понижений. Здесь, в интервалах глубин от 13 до 18 м и от 21 до 27 м, развиты прослои интенсивно кавернозного, трещиноватого известняка (незаполненные каверны диаметром от 0,01 до 0,05 м). Кавернозные прослои залегают над закарстованными и могут служить индикаторами полостей.

Вершины останцов сложены крепкими или средней крепости окремненными, скрыто- и мелкокристаллическими, слаботрещиноватыми породами. Заполнитель трещин – кальцит.

Склоны останцов сложены мелкокристаллическими, трещиноватыми породами, трещины которых также заполнены кальцитом.

Примечание. Целесообразно в итоговой оценочной схеме сгруппировать признаки-факторы локальной оценки таким образом, чтобы их комплексы характеризовали квазиоднородные, типичные по геолого-карстологическим показателям фрагменты массива. Группировка признаков карстоопасности возможна в табличном виде и является схемой типизации оцениваемой территории – основой сравнительно-оценочного районирования. Рекомендуется выделять территории первого типа – сравнительно безопасные для инженерного освоения; территории второго типа, характеризующиеся средней степенью карстоопасности, при их освоении необходимо применение конструктивных противокарстовых мероприятий; территории третьего типа, в пределах которых возведение строительных объектов бытового или промышленного назначения должно быть исключено.

Практическое задание 9

Общая характеристика карстового массива

Порядок выполнения задания:

1. Обобщить и проанализировать материалы ранее выполненных работ.
2. Дать общую характеристику карстового массива, используя пример.

Библиографический список

Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256с.

Геологический словарь. Т.1. М.: Недра, 1973. 486 с.

Голодковская Г.А., Шаумян Л.В. К природе прочности массивов скальных горных пород // Вестник МГУ. Сер. геол. 1974. N1. С.33 – 48.

Горная энциклопедия. Т.3. Кенган-Орт. М.: Советская энциклопедия, 1987. 592 с.

Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования: учеб. пособие по спецкурсу / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2001. 85с.

Катаев В.Н. Основы структурного карстоведения: учеб. пособие по спецкурсу / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2004. 109 с.

Панюков П.Н. Инженерная геология. М.: Недра, 1978. 294с.

Список рекомендуемой литературы

Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с.

Катаев В.Н., Ковалева Т.Г., Лихая О.М. Комплекс геологических показателей активности карста в пределах с.Усть-Кишерть и на прилегающей территории // Гидрогеология и карстоведение: межвуз. сб. науч. тр. / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2010. Вып. 17. С. 61-71.

Катаев В.Н., Ковалёва Т.Г. Роль экспертной оценки в карстологическом прогнозе // Фундаментальные исследования. 2013. №8-5. С. 1130-1135.

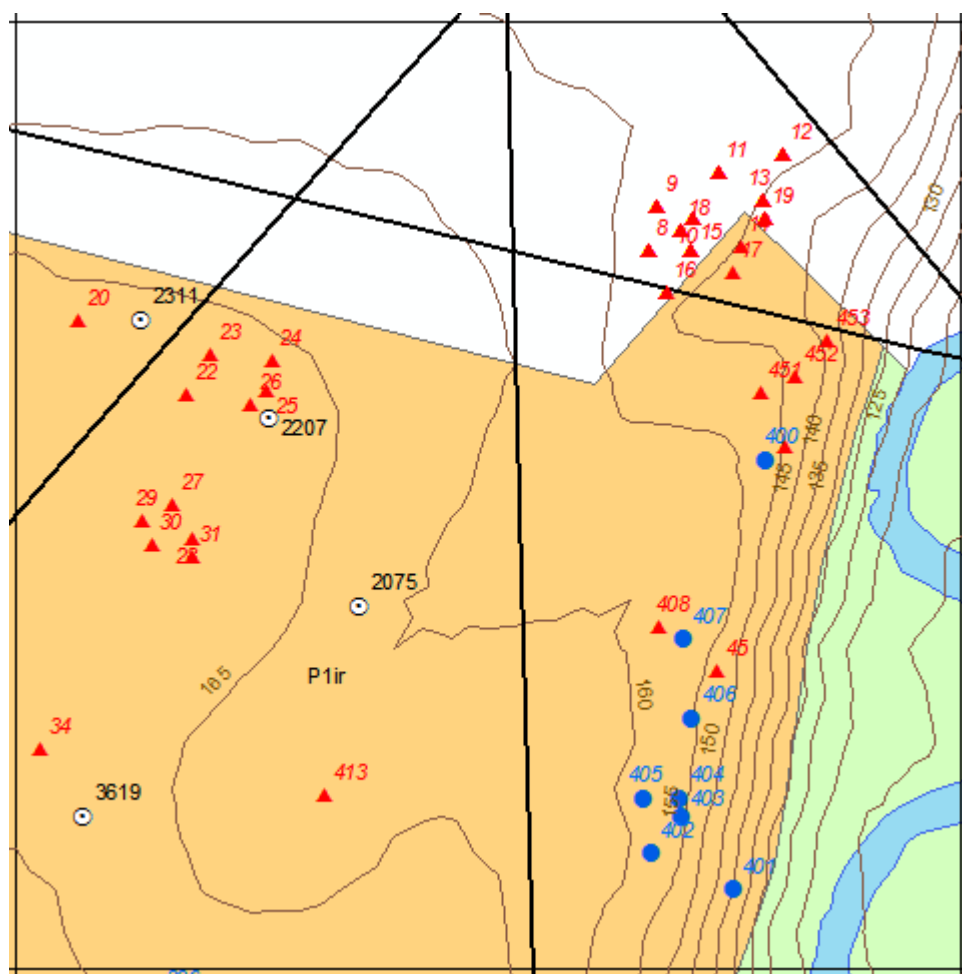
Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края: энциклопедия / под ред. А.И. Кудряшова. Пермь, 2006. С. 124-139.

ТСН 11-301-2004. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области / Администрация Пермской обл. Пермь, 2004. 106 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

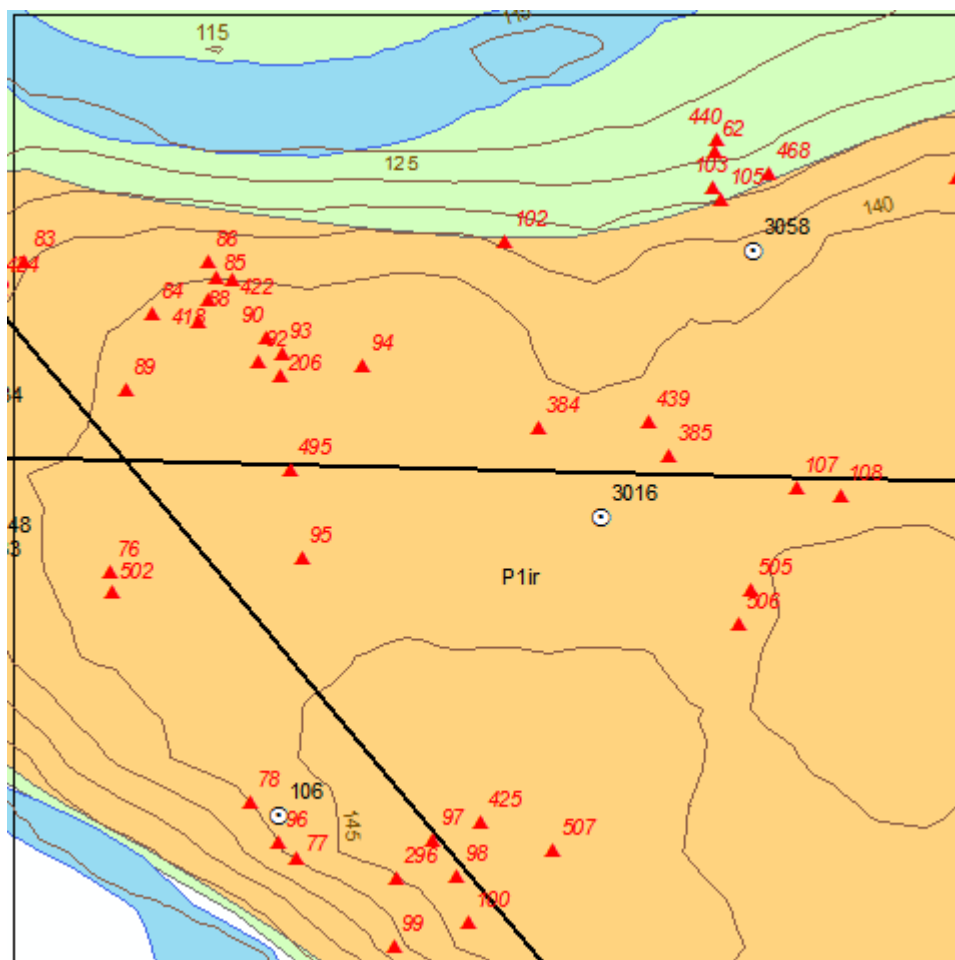
Вариант 1



Масштаб 1:10000

<p><u>C-2311</u> 166,5 м</p> <p>0-44 Щебенисто-дресвяный грунт, заполнитель глина N-Q 44-58 Известняк P_{1ir} 58-85 Гипсоангидрит P_{1ir} 85-134 Доломит P_{1ph} 134-147 Известняк P_{1ph}</p>	<p><u>C-2207</u> 165,1 м</p> <p>0,0-0,5 Насыпной грунт tQ 0,5-10 Супесь твердая aQ 10-15 Щебень доломита, заполнитель глина N-Q 15-30 Гипс кавернозный P_{1ir} 30-30,5 Полость, заполненная глиной 30,5-35 Гипс трещиноватый P_{1ir} 35-42 Ангидрит трещиноватый P_{1ir} 42-44 Доломит P_{1ir} 44-45 Полость, заполненная глиной 45-50 Гипс P_{1ir}</p>	<p><u>C-2075</u> 161,0 м</p> <p>0-20 Суглинок полутвердый aQ 20-28 Гравийно-галечниковый грунт с глинистым заполнителем aQ 28-33 Щебень доломита, заполнитель глина N-Q 33-37 Гипс трещиноватый P_{1ir} 37-42 Доломит трещиноватый P_{1ir} 42-50 Гипс трещиноватый P_{1ir} 50-55 Доломит трещиноватый P_{1ir}</p>
<p>Вода ▽59,5/▼59,0</p>	<p>Вода ▽37,0/▼36,5</p>	<p>Вода ▽34,0/▼33,3</p>

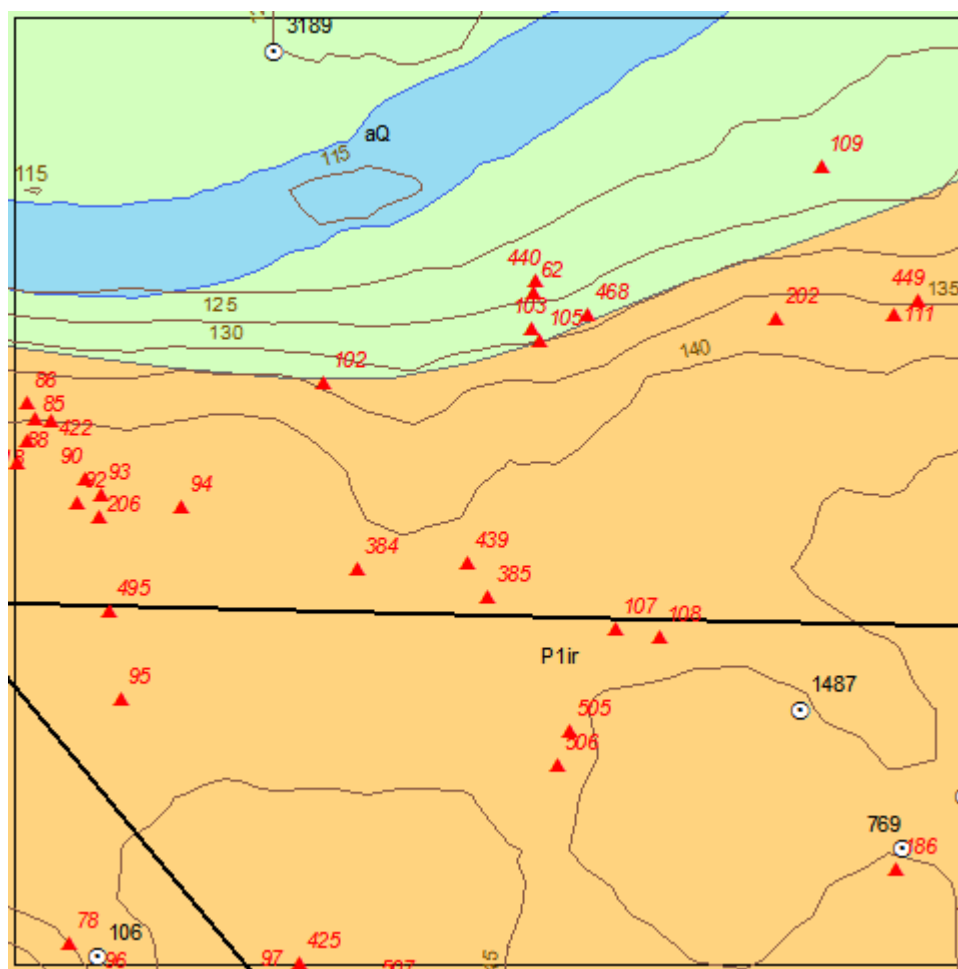
Вариант 2



Масштаб 1:10000

<u>C-3058</u> 138,7 м 0-10 Суглинок полутвердый аQ 10-25 Щебень доломита, заполнитель глина N-Q 25-32 Гипсоангидрит трещиноватый P _{1ir} 32-62 Ангидрит P _{1ir} , в интервалах 38,5-40,0; 43,0-45,5 полости, заполненные глинистым материалом	<u>C-3016</u> 140,5 м 0-10 Суглинок полутвердый аQ 10-15 Гравийно-галечниковый грунт с глинистым заполнителем аQ 15-32 Щебень доломита и известняка, заполнитель суглинок N-Q 32-62 Ангидрит P _{1ir} 62-65 Доломит P _{1ph}	<u>C-106</u> 145,9 м 0-5 Гравийно-галечниковый грунт с суглинистым заполнителем аQ 5-22 Щебень доломита и известняка, заполнитель суглинок N-Q 22-30 Ангидрит трещиноватый P _{1ir} 30-32 Незаполненная полость 32-55 Ангидрит P _{1ir} 55-57 Доломит P _{1ph}
Вода ▽38,0/▼34,0	Вода ▽35,0/▼29,5	Воды нет

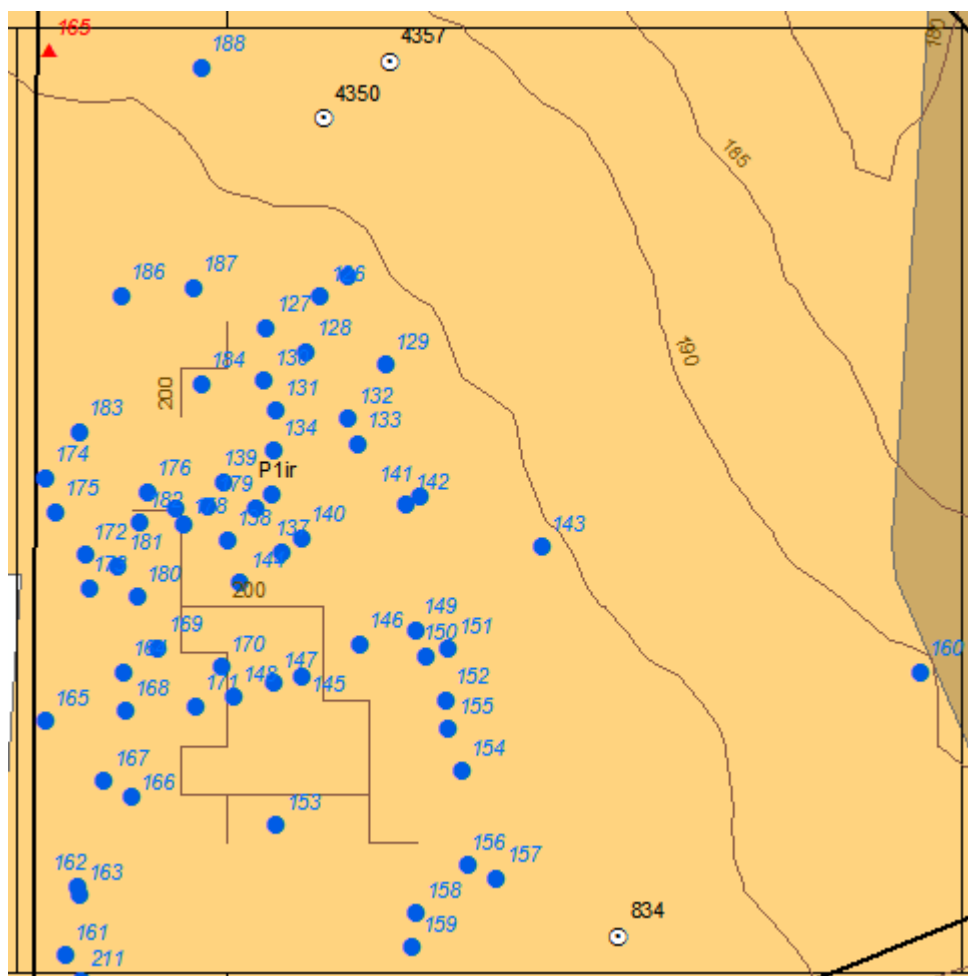
Вариант 3



Масштаб 1:10000

<p><u>C-3189</u> 119,6 м</p> <p>0-8 Суглинок полутвердый аQ 8-35 Гравийно-галечниковый грунт с глинистым заполнителем аQ 35-36 Доломит кавернозный P_{lir} 36-36,5 Незаполненная полость 36,5-40,0 Полость, заполненная дресвой гипса и доломита 40-42 Гипс P_{lir} 42-45 Доломит P_{lir} 45-50 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>C-1487</u> 142,1 м</p> <p>0-5 Суглинок полутвердый аQ 5-8 Гравийный грунт с песчаным заполнителем аQ 8-14 Суглинок с включениями дресвы и щебня известняка и доломита N-Q 14-27 Щебень доломита, заполнитель глина N-Q 27-32 Доломит P_{lir} 32-54 Ангидрит трещиноватый P_{lir} 54-60 Переслаивание доломита и ангидрита P_{lir} 60-64 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>C-769</u> 142,6 м</p> <p>0-7 Суглинок полутвердый аQ 7-25 Щебень известняка с суглинистым заполнителем N-Q 25-29 Известняк трещиноватый P_{lir} 29-29,5 Полость, заполненная глиной N-Q 29,5-30,5 Известняк трещиноватый P_{lir} 30,5-56,5 Ангидрит трещиноватый P_{lir} 56,5-59 Доломит P_{lir} 59-65 Доломит P_{lph}</p>
<p>Вода ▽7,7/▼7,7</p>	<p>Вода ▽30,0/▼29,5</p>	<p>Вода ▽27,2/▼27,0</p>

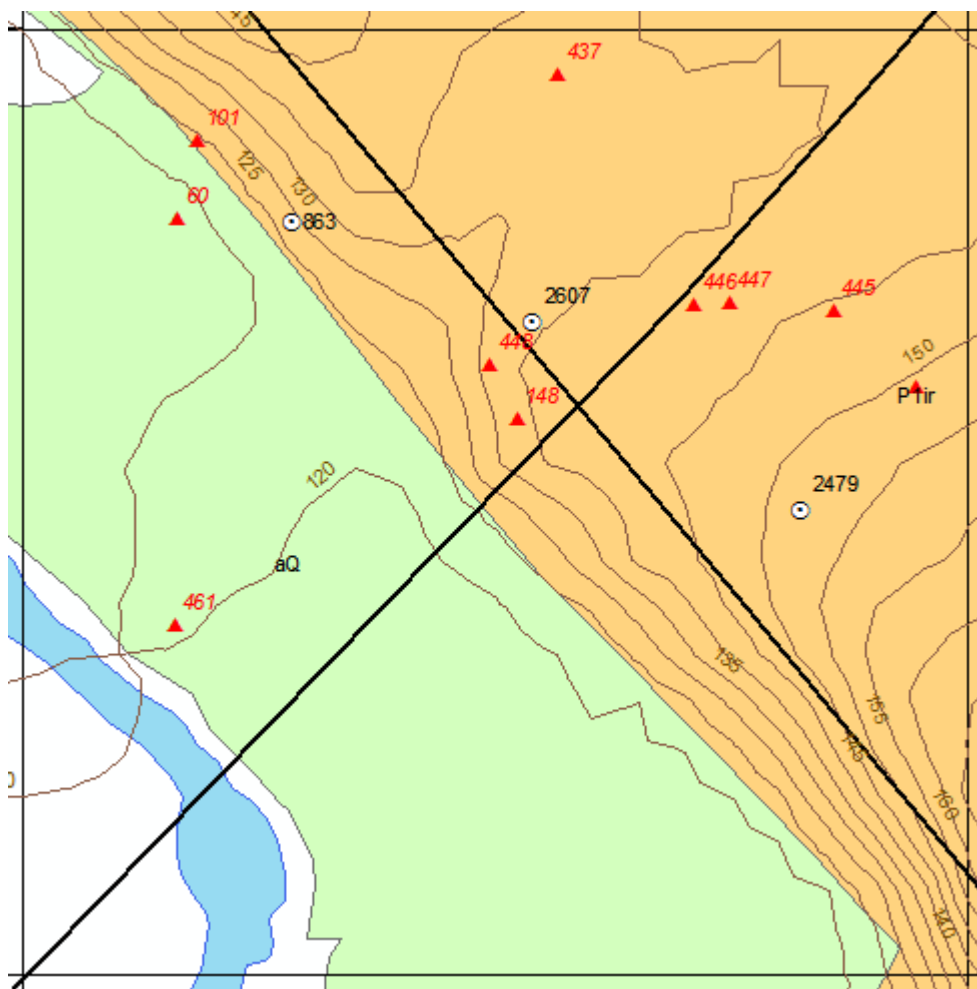
Вариант 4



Масштаб 1:10000

<p><u>С-4357</u> 190,2 м</p> <p>0-7 Суглинок тугопластичный аQ 7-28 Глина аQ 28-33 Гравийно-галечниковый грунт с песчаным заполнителем аQ 33-35 Полость, заполненная глинистым материалом 35-55 Щебенистый грунт известняка с глинистым заполнителем N-Q 55-73 Глина известковистая с включениями щебня известняка, ангидрита N-Q 73-80 Доломит P_{lir}</p>	<p><u>С-4350</u> 194,0 м</p> <p>0-28 Глина аQ 28-34 Полость, заполненная глинистым материалом 34-37 Щебенистый грунт известняка с глинистым заполнителем N-Q 37-63 Известняк трещиноватый P_{lir} 63-67 Доломит, прослоями разрушен до щебня P_{lir} 67-73 Известняк, прослоями разрушен до щебня P_{lir} 73-78 Ангидрит P_{lir}</p>	<p><u>С-834</u> 196,7 м</p> <p>0-16 Глина аQ 16-32 Щебенистый грунт известняка с глинистым заполнителем N-Q 32-49 Щебенистый грунт гипса и ангидрита, заполнитель глина N-Q 49-52 Глина щебенистая N-Q 52-60 Известняк, прослоями разрушен до щебня P_{lir}</p>
<p>Вода ▽6,0/▼6,0 Вода ▽72,0/▼75,0</p>	<p>Воды нет</p>	<p>Воды нет</p>

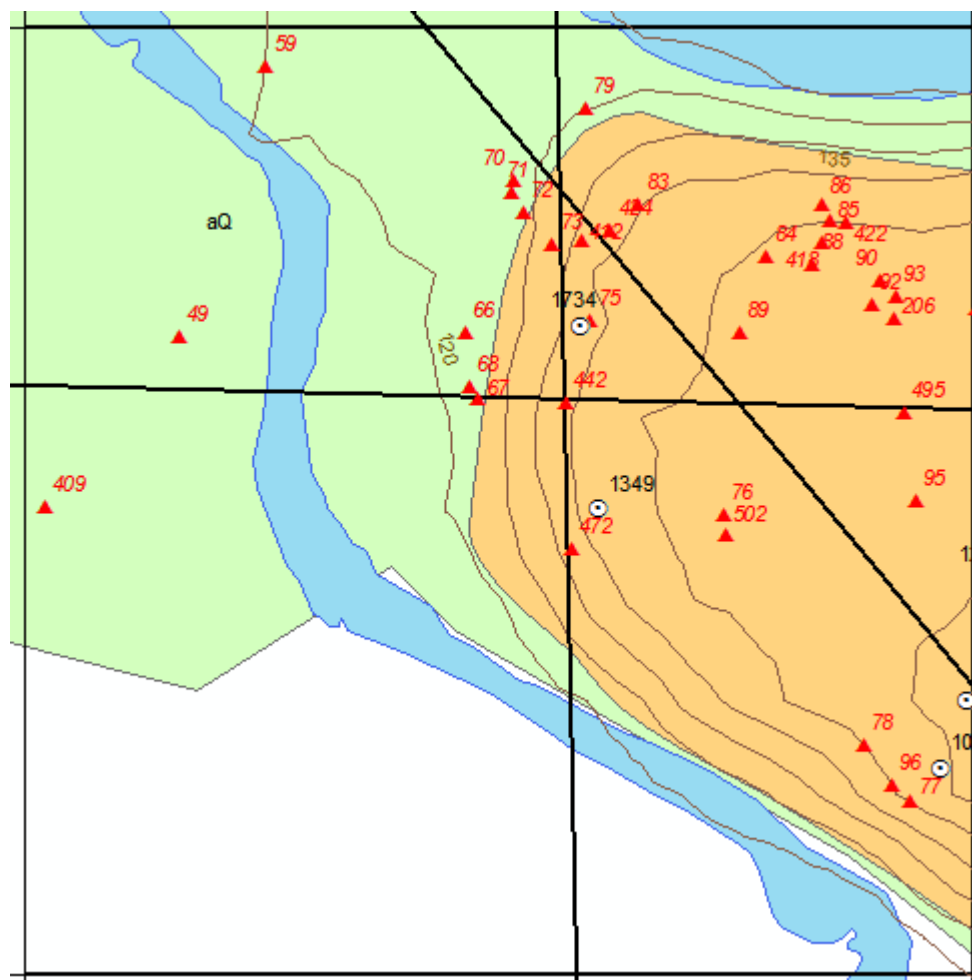
Вариант 5



Масштаб 1:10000

<p><u>C-863</u> 138,7 м 0-3 Суглинок полутвердый аQ 3-29 Щебенистый грунт из- вестняка и доломита с су- глинистым заполнителем N- Q 29-59 Ангидрит P_{1ir} 59-62 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>C-2607</u> 140,2 м 0-6 Суглинок полутвердый аQ 6-15 Щебенистый грунт до- ломита N-Q 15-26 Доломита P_{1ir} 26-34 Ангидрит P_{1ir} 34-38 Доломит P_{1ir} 38-54 Ангидрит P_{1ir} 54-70 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>C-2479</u> 152,9 м 0-8 Суглинок полутвердый аQ 8-12 Щебенистый грунт до- ломита с глинистым запол- нителем N-Q 12-21 Доломит P_{1ir} 21-22 Полость, заполненная песчаным материалом 22-52 Ангидрит P_{1ir} 52-60 Доломит P_{1ph}</p>
<p>Вода ▽29,0/▼28,5</p>	<p>Вода ▽34,5/▼34,0</p>	<p>Вода ▽42,5/▼42,1</p>

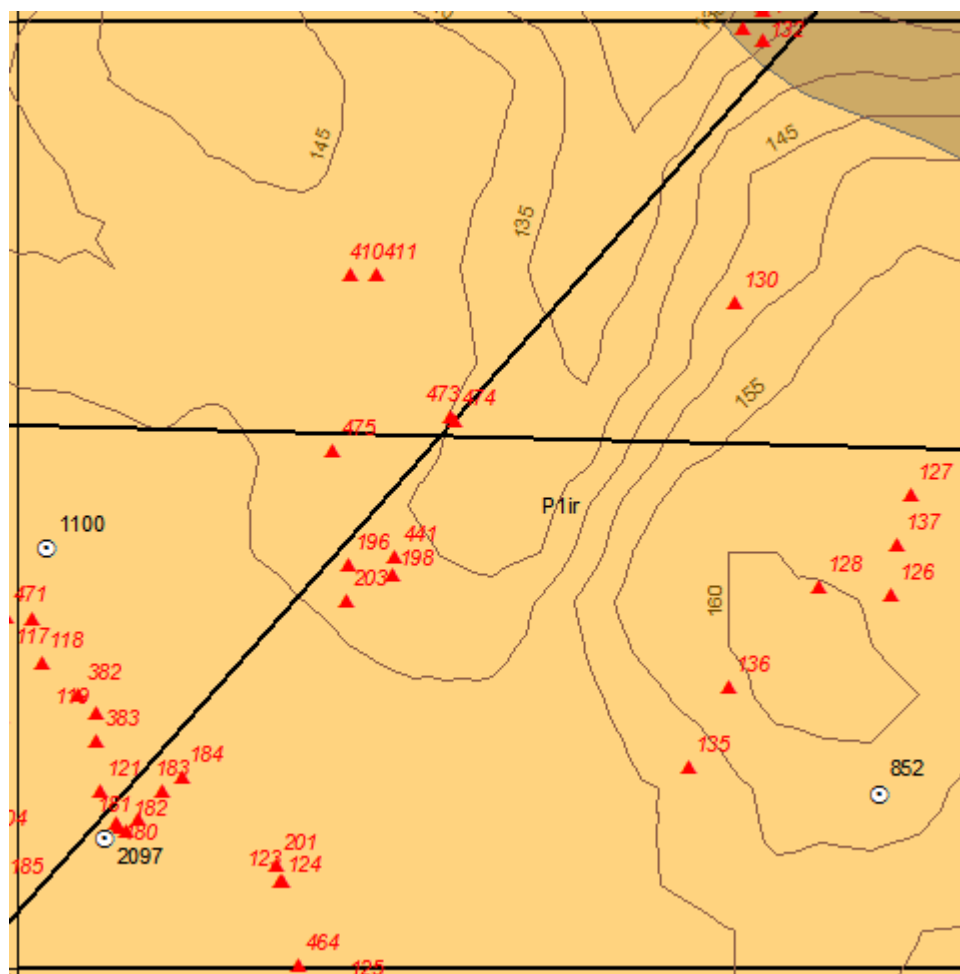
Вариант 6



Масштаб 1:10000

<p><u>С-1734</u> 138,3 м</p> <p>0-9 Глина аQ 9-15 Гипс кавернозный P_{1ir} 15-18 Полость, заполненная глиной 18-20 Гипс кавернозный P_{1ir} 20-25 Мергель P_{1ir} 25-56 Ангидрит P_{1ir} 56-60 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>С-1349</u> 140,1 м</p> <p>0-7 Суглинок мягкопластичный аQ 7-27 Щебень известняка, заполнитель суглинок N-Q 27-30 Ангидрит P_{1ir} 30-32 Доломит P_{1ir} 32-55 Ангидрит P_{1ir} 55-60 Переслаивание доломита и ангидрита P_{1ir} 60-65 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>С-108</u> 146,3 м</p> <p>0-5 Суглинок полутвердый аQ 5-7 Щебенистый грунт известняка с суглинистым заполнителем N-Q 7-20 Гипс, в интервалах P_{1ir} 14,5-16; 16,5-17; 17,5-18; 19-20 незаполненные полости 20-55 Ангидрит трещиноватый P_{1ir} 55-57 Доломит P_{1ph}</p>
Вода ▽25,0/▼25,0	Вода ▽29,0/▼27,2	Воды нет

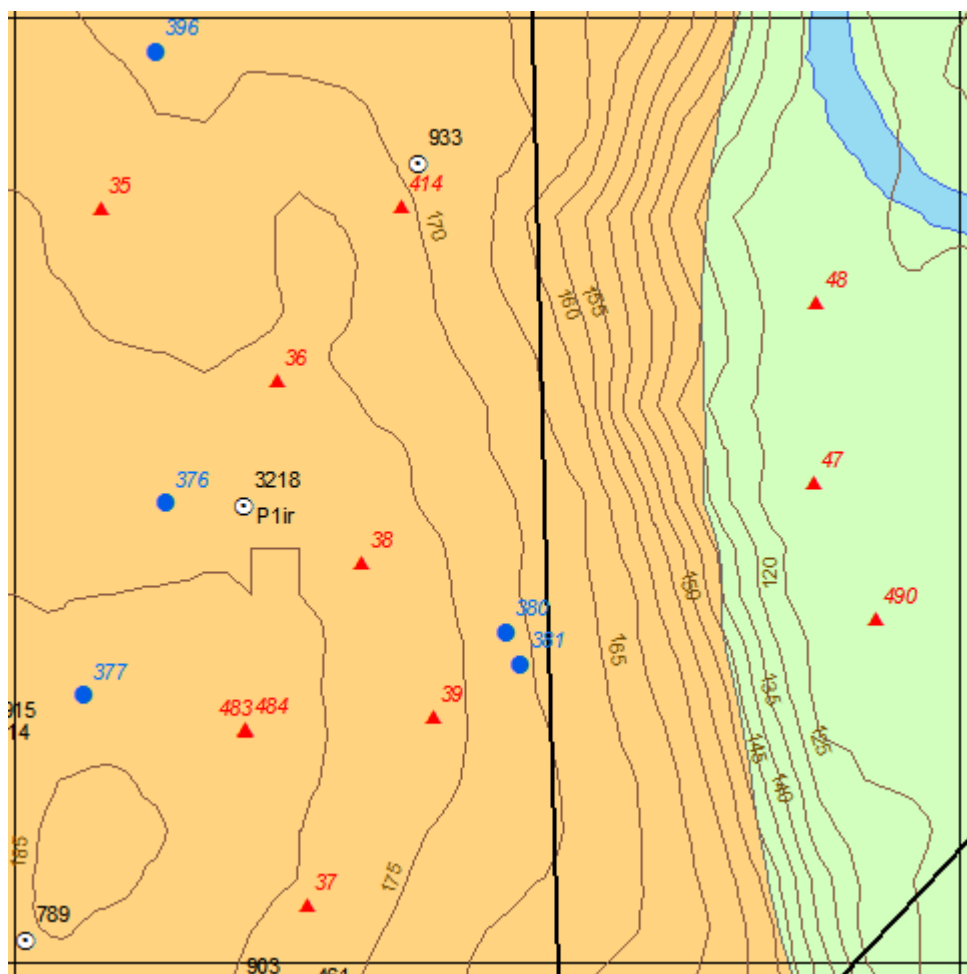
Вариант 7



Масштаб 1:10000

<p><u>C-1100</u> 147,8 м</p> <p>0-7 Суглинок полутвердый аQ 7-18 Щебенистый грунт известняка с суглинистым заполнителем N-Q 18-26 Гипс трещиноватый P_{1ir} 26-45 Ангидрит трещиноватый P_{1ir} 45-47 Доломит P_{1ir} 47-52 Ангидрит P_{1ir} 52-70 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>C-852</u> 155,0 м</p> <p>0-5 Суглинок полутвердый аQ 5-8 Гравийный грунт с песчаным заполнителем аQ 8-26 Щебенистый грунт известняка с глинистым заполнителем N-Q 26-36 Глыбы гипса и ангидрита N-Q 36-39 Гипс трещиноватый P_{1ir} 39-49 Ангидрит P_{1ir} 49-53 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>C-2097</u> 137,9 м</p> <p>0-14 Суглинок полутвердый аQ 14-30 Щебень доломита, заполнитель суглинок N-Q 30-42 Ангидрит трещиноватый P_{1ir} 42-43,5 Незаполненная полость 43,5-67 Ангидрит трещиноватый P_{1ir} 67-70 Доломит P_{1ph}</p>
Вода ▽40,5/▼36,0	Вода ▽45,0/▼42,5	Вода ▽34,0/▼33,0

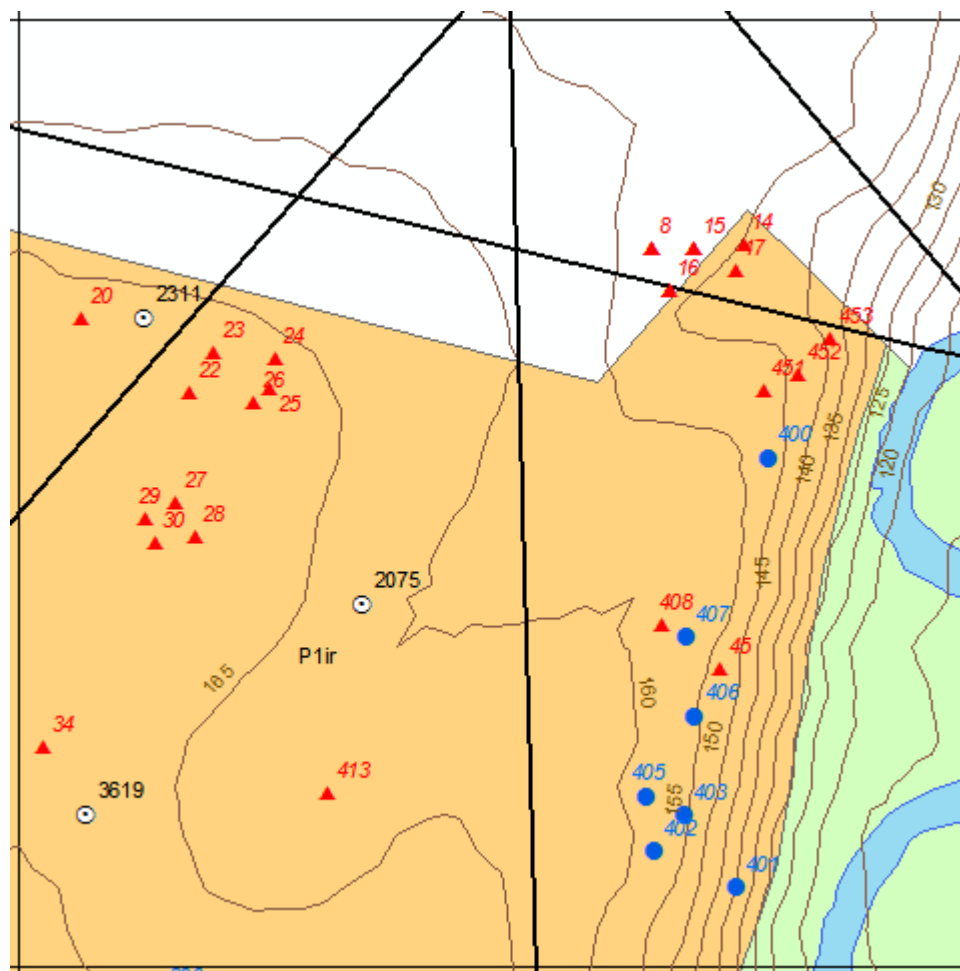
Вариант 8



Масштаб 1:10000

<p><u>С-933</u> 167,0 м</p> <p>0-13 Суглинок полутвердый аQ 13-16 Песок аQ 16-20 Суглинок полутвердый аQ 20-23 Глина с включениями щебня доломита N-Q 23-36 Щебенистый грунт доломита с глинистым заполнителем N-Q 36-42 Гипс P_{1ir} 42-43 Полость, заполненная глиной 43-53 Гипс P_{1ir} 53-56 Доломит P_{1ir} 56-58 Гипс P_{1ir} 58-61 Ангидрит трещиноватый P_{1ir}</p> <p>Вода ▽42,5/▼42,0</p>	<p><u>С-3218</u> 176,2 м</p> <p>0-12 Суглинок полутвердый аQ 12-23 Глина с включениями щебня доломита N-Q 23-26 Гипс P_{1ir} 26-30 Гипсоангидрит Гипс P_{1ir} 30-35 Ангидрит P_{1ir} 35-37 Доломит P_{1ir} 37-47 Ангидрит P_{1ir} 47-53 Доломит P_{1ir} 53-54 Ангидрит P_{1ir}</p> <p>Воды нет</p>	<p><u>С-789</u> 183,9 м</p> <p>0-5 Суглинок полутвердый аQ 5-8 Песок аQ 8-20,5 Глина с включениями щебня доломита N-Q 20,5-35 Гипс P_{1ir} 35-36 Ангидрит P_{1ir} 36-38 Гипс трещиноватый P_{1ir} 38-47 Ангидрит P_{1ir} 47-50 Доломит P_{1ir} 50-52 Полость, заполненная глиной 52-55 Гипс трещиноватый P_{1ir} 55-58 Ангидрит P_{1ir}</p> <p>Вода ▽4,8/▼4,8</p>
---	--	---

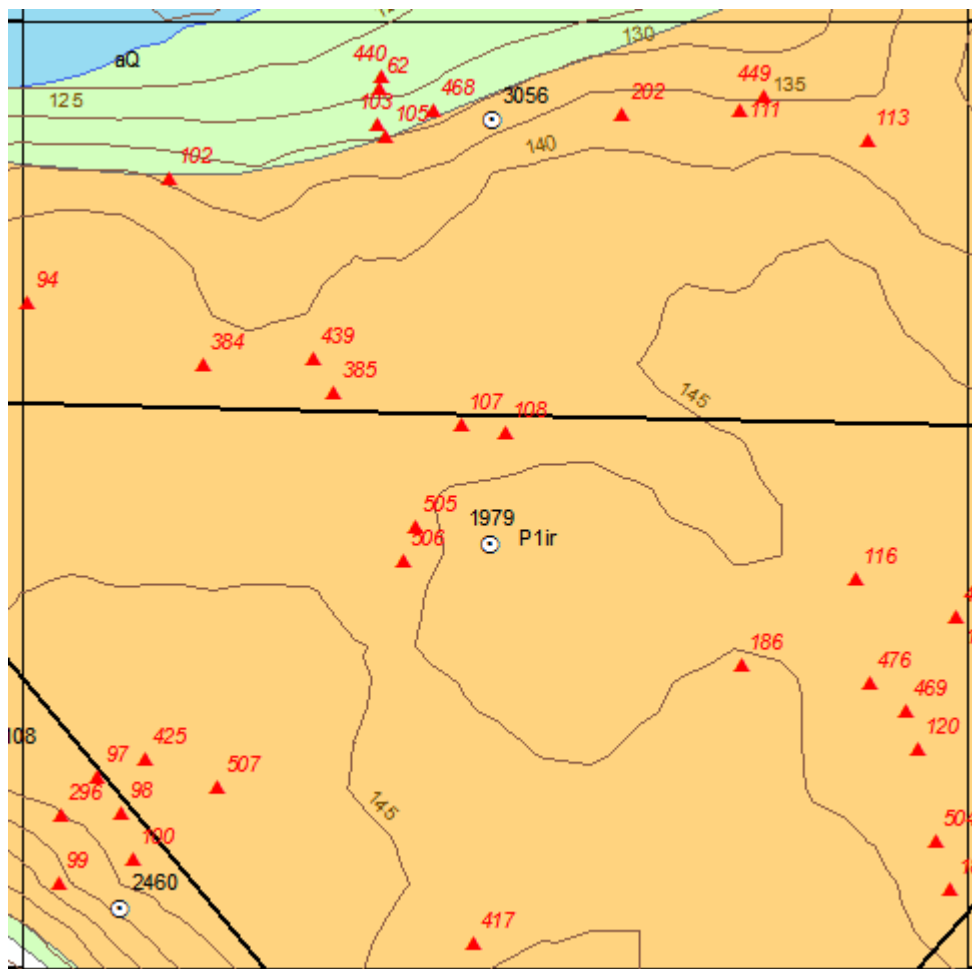
Вариант 9



Масштаб 1:10000

<p><u>С-2311</u> 166,5 м</p> <p>0-44 Щебенисто-дресвяный грунт, заполнитель глина N-Q 44-58 Известняк P_{1ir} 58-85 Гипсоангидрит P_{1ir} 85-134 Доломит P_{1ph} 134-147 Известняк P_{1ph}</p>	<p><u>С-2075</u> 161,0 м</p> <p>0-20 Суглинок полутвердый аQ 20-28 Гравийно-галечниковый грунт с глинистым заполнителем аQ 28-33 Щебень доломита, заполнитель глина N-Q 33-37 Гипс трещиноватый P_{1ir} 37-42 Доломит трещиноватый P_{1ir} 42-50 Гипс трещиноватый P_{1ir} 50-55 Доломит трещиноватый P_{1ir}</p>	<p><u>С-3619</u> 167,0 м</p> <p>0-24 Суглинок полутвердый аQ 24-26 Щебень доломита, заполнитель глина N-Q 26-45 Ангидрит P_{1ir} 45-48 Гипс трещиноватый P_{1ir} 48-52 Доломит P_{1ir} 52-54 Гипс трещиноватый P_{1ir} 54-55 Полость, заполненная суглинистым материалом 55-58 Доломит P_{1ir}</p>
<p>Вода ▽46,4/▼48,4</p>	<p>Воды нет</p>	<p>Вода ▽5,3/▼5,0</p>

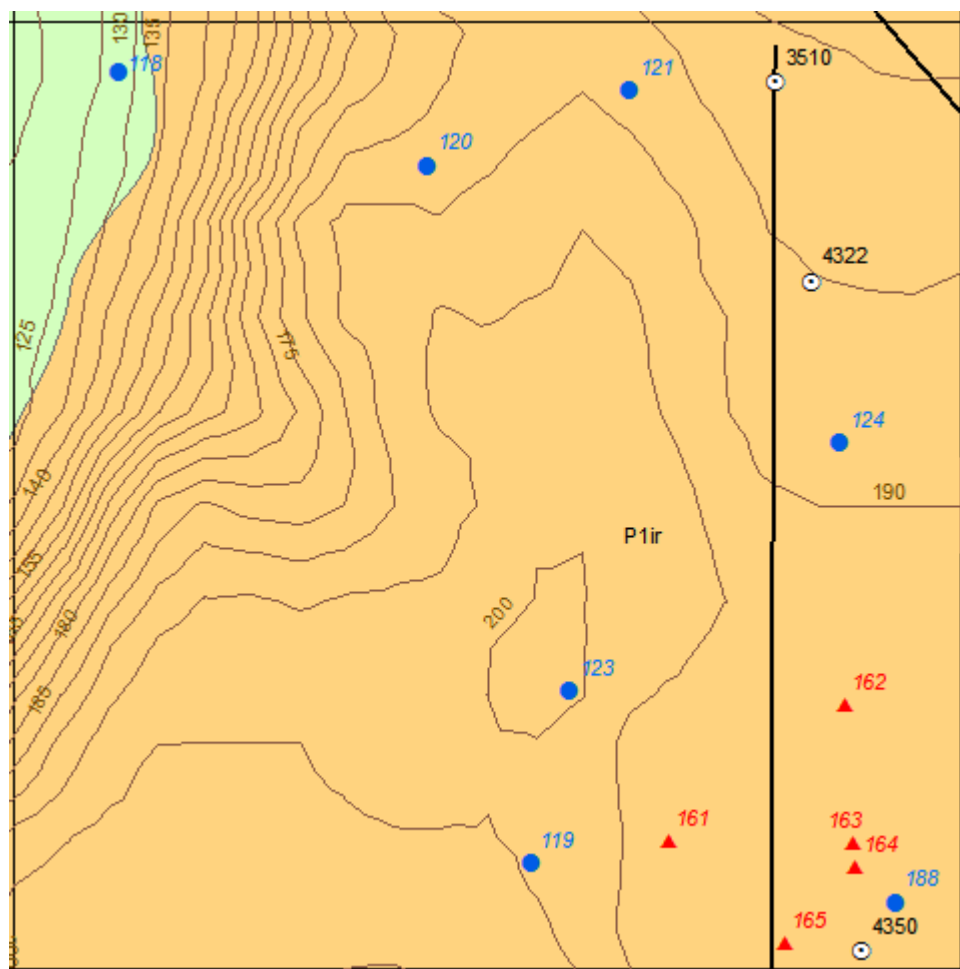
Вариант 10



Масштаб 1:10000

<p><u>С-3056</u> 138,6 м</p> <p>0-12 Суглинок полутвердый аQ 12-28 Щебень гипса и ангидрита, заполнитель суглинок N-Q 28-61 Ангидрит P_{1ir} 61-65 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>С-1979</u> 143,4 м</p> <p>0-7 Суглинок полутвердый аQ 7-20 Гравийный грунт с суглинистым заполнителем аQ 20-33 Щебенистый грунт известняка с глинистым заполнителем N-Q 33-57 Ангидрит P_{1ir} 57-61 Доломит P_{1ir} 61-65 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>С-2460</u> 146,8 м</p> <p>0-7 Суглинок полутвердый аQ 7-15 Гипс P_{1ir} 15-16 Доломит P_{1ir} 16-16,5 Полость, заполненная глиной 16,5-22 Гипс трещиноватый P_{1ir} 22-24 Доломит P_{1ir} 24-26,5 Гипс трещиноватый P_{1ir} 26,5-27,5 Полость, заполненная щебнем доломита и суглинком 27,5-29 Доломит P_{1ir} 29-63 Ангидрит P_{1ir} 63-67 Доломит P_{1ph}</p>
Вода ▽37,0/▼34,0	Вода ▽33,0/▼32,0	Вода ▽34,0/▼32,2

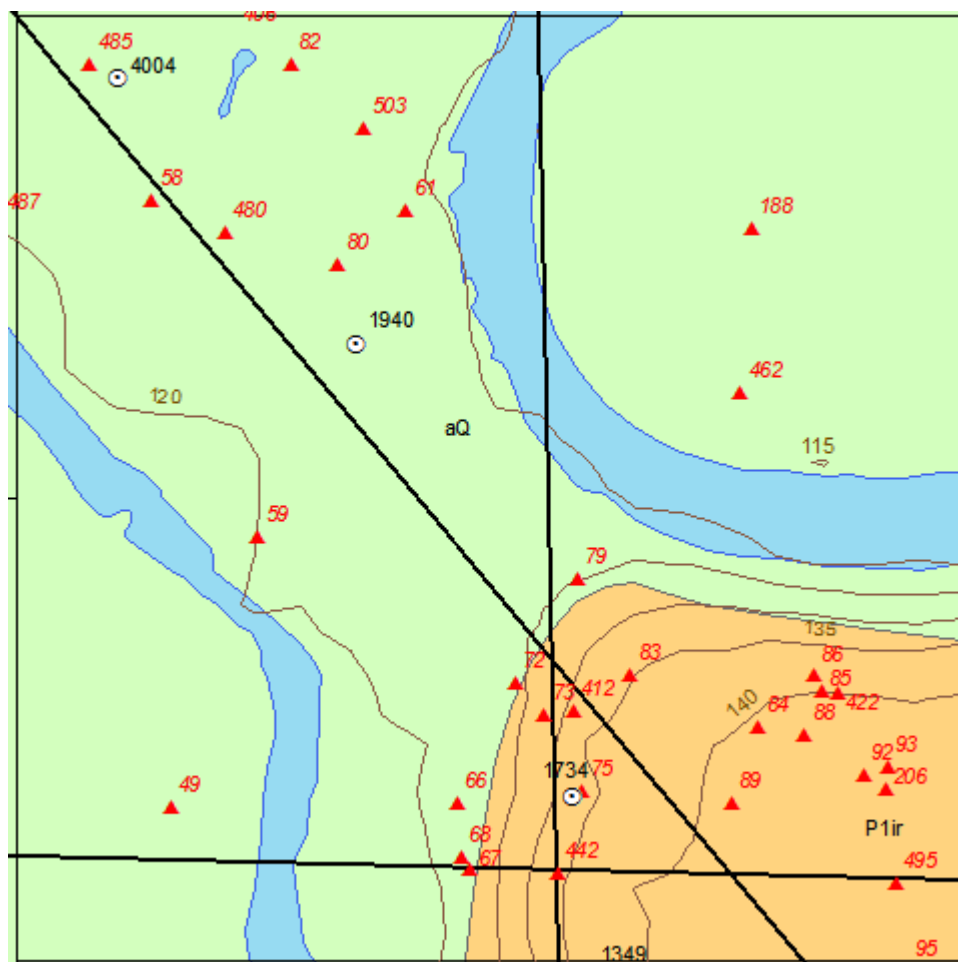
Вариант 11



Масштаб 1:10000

<p><u>С-3510</u> 181,2 м</p> <p>0-9 Суглинок полутвердый аQ 9-37 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 37-67 Ангидрит P_{1ir} 67-105 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>С-4322</u> 184,4 м</p> <p>0-9 Суглинок полутвердый аQ 9-11 Гравийный грунт с суглинистым заполнителем аQ 11-16 Известняк P_{1ir} 16-31 Польшь, заполненная щебнем известняка 31-53 Ангидрит P_{1ir} 53-55 Доломит P_{1ir} 55-80 Ангидрит P_{1ir}</p>	<p><u>С-4350</u> 194,0 м</p> <p>0-28 Суглинок полутвердый аQ 28-34 Польшь, заполненная глиной 34-37 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 37-63 Известняк P_{1ir} 63-67 Доломит P_{1ir} 67-72 Известняк P_{1ir} 72-78 Ангидрит P_{1ir} 78-80 Доломит P_{1ir}</p>
<p>Вода ▽62,0/▼61,5</p>	<p>Воды нет</p>	<p>Вода ▽63,0/▼62,0</p>

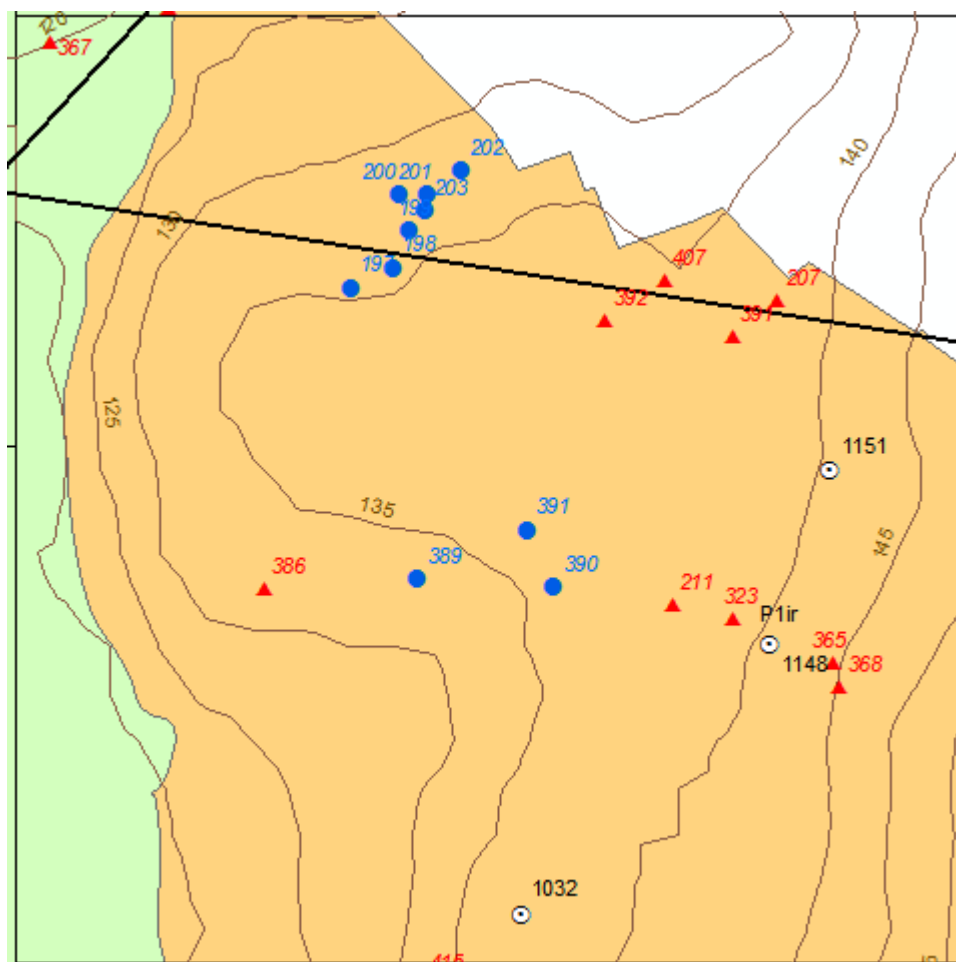
Вариант 12



Масштаб 1:10000

<p><u>С-4004</u> 119,3 м</p> <p>0-11 Суглинок полутвердый аQ 11-17 Галечниковый грунт, заполнитель суглинок аQ 17-22 Известняк P_{lir} 22-52 Ангидрит P_{lir} 52-57 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>С-1940</u> 117,1 м</p> <p>0-10 Глина аQ 10-19 Галечниковый грунт, заполнитель суглинок аQ 19-25 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 25-57 Ангидрит P_{lir} 57-58,5 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>С-1734</u> 138,3 м</p> <p>0-9 Глина аQ 9-14,5 Гипс P_{lir} 14,5-18 Полость, заполненная глиной и щебнем 18-20 Гипс P_{lir} 20-25,5 Мергель P_{lir} 25,5-56 Ангидрит P_{lir} 56-60 Доломит P_{lph}</p>
<p>Вода ▽10,0/▼9,0</p>	<p>Вода ▽9,0/▼8,0</p>	<p>Вода ▽25,0/▼25,0</p>

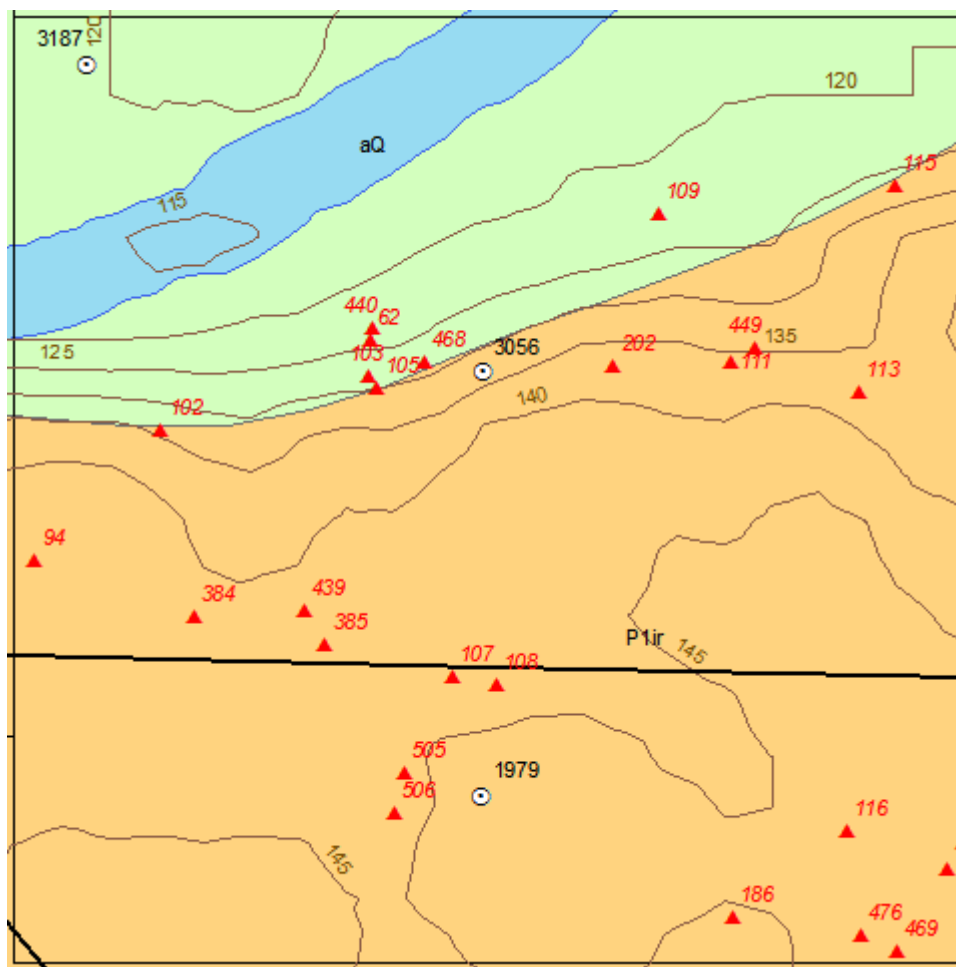
Вариант 13



Масштаб 1:10000

<p><u>С-1151</u> 141,2 м</p> <p>0-16 Суглинок аQ 16-25,5 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 25,5-26,5 Незаполненная по- лость 26,5-33 Щебень гипса и ан- гидрита, заполнитель глина N-Q 33-51 Ангидрит P_{lir} 51-55 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>С-1148</u> 142,9 м</p> <p>0-16 Суглинок аQ 16-31 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 31-50 Ангидрит P_{lir} 50-55 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>С-1032</u> 140,0 м</p> <p>0-14 Суглинок аQ 14-25 Ангидрит P_{lir} 25-42 Доломит P_{lir} 42-54 Ангидрит P_{lir} 54-64 Доломит P_{lir} 64-75 Ангидрит P_{lir}</p>
<p>Вода ▽32,5/▼32,0</p>	<p>Вода ▽33,0/▼32,0</p>	<p>Вода ▽31,0/▼30,0</p>

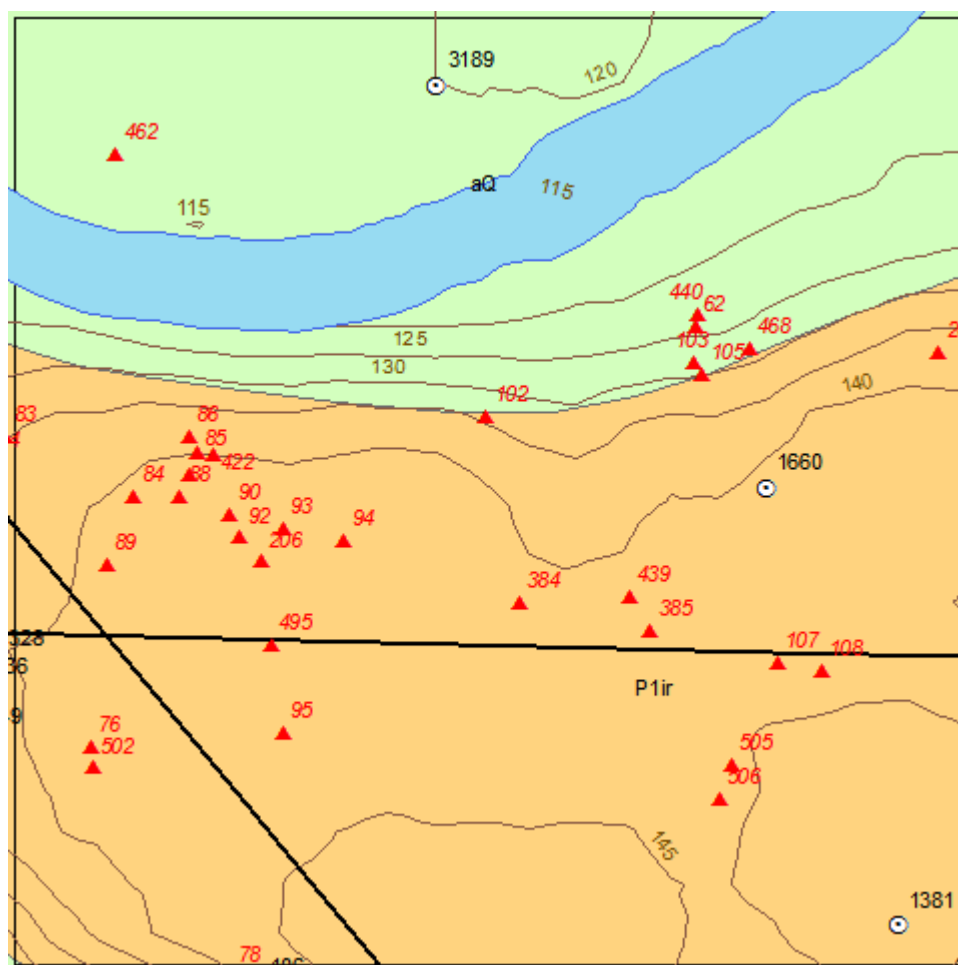
Вариант 14



Масштаб 1:10000

<p><u>C-3056</u> 138,6 м</p> <p>0-12 Суглинок полутвердый аQ 12-28 Щебень гипса и ангидрита, заполнитель суглинок N-Q 28-61 Ангидрит P_{1ir} 61-65 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>C-1979</u> 143,4 м</p> <p>0-7 Суглинок полутвердый аQ 7-20 Гравийный грунт с суглинистым заполнителем аQ 20-33 Щебенистый грунт известняка с глинистым заполнителем N-Q 33-57 Ангидрит P_{1ir} 57-61 Доломит P_{1ir} 61-65 Доломит P_{1ph}</p>	<p><u>C-3187</u> 117,4 м</p> <p>0-8 Суглинок аQ 8-32 Гравийный грунт с суглинистым заполнителем аQ 32-38 Щебень доломита, заполнитель глина N-Q 38-41 Гипс P_{1ir} 41-41,5 Полость, заполненная глиной и щебнем 41,5-50 Доломит P_{1ir}</p>
<p>Вода ▽37,0/▼34,0</p>	<p>Вода ▽33,0/▼32,0</p>	<p>Вода ▽5,8/▼5,8</p>

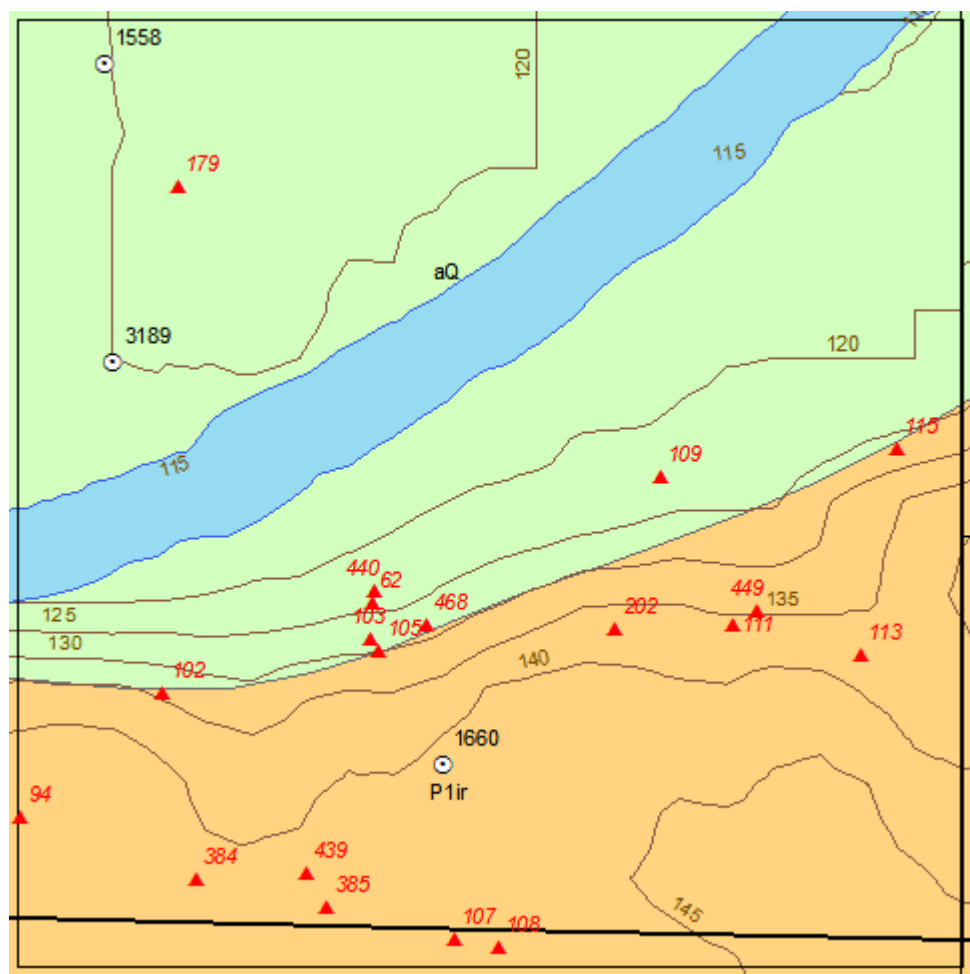
Вариант 15



Масштаб 1:10000

<p><u>С-3189</u> 119,6 м</p> <p>0-10 Суглинок аQ 10-35 Гравийный грунт с суглинистым заполнителем аQ 35-36 Доломит P_{lir} 36-36,5 Незаполненная полость 36,5-39 Полость, заполненная щебнем гипса и доломита 39-42 Гипс трещиноватый P_{lir} 42-45 Доломит P_{lir} 45-50 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>С-1660</u> 139,7 м</p> <p>0-5 Суглинок аQ 5-15 Гравийный грунт аQ 15-21 Глина известковистая с щебнем N-Q 21-35 Ангидрит P_{lir} 35-40 Известняк P_{lir} 40-44 Ангидрит P_{lir} 44-45 Гипс трещиноватый P_{lir} 45-64 Ангидрит P_{lir} 64-66 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>С-1381</u> 142,2 м</p> <p>0-14 Суглинок аQ 14-30 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 30-34 Известняк P_{lir} 34-55 Ангидрит P_{lir} 55-57 Доломит P_{lir} 57-61 Ангидрит P_{lir} 61-65 Доломит P_{lph}</p>
Вода ▽7,7/▼7,7	Вода ▽31,1/▼29,2	Вода ▽29,0/▼28,0

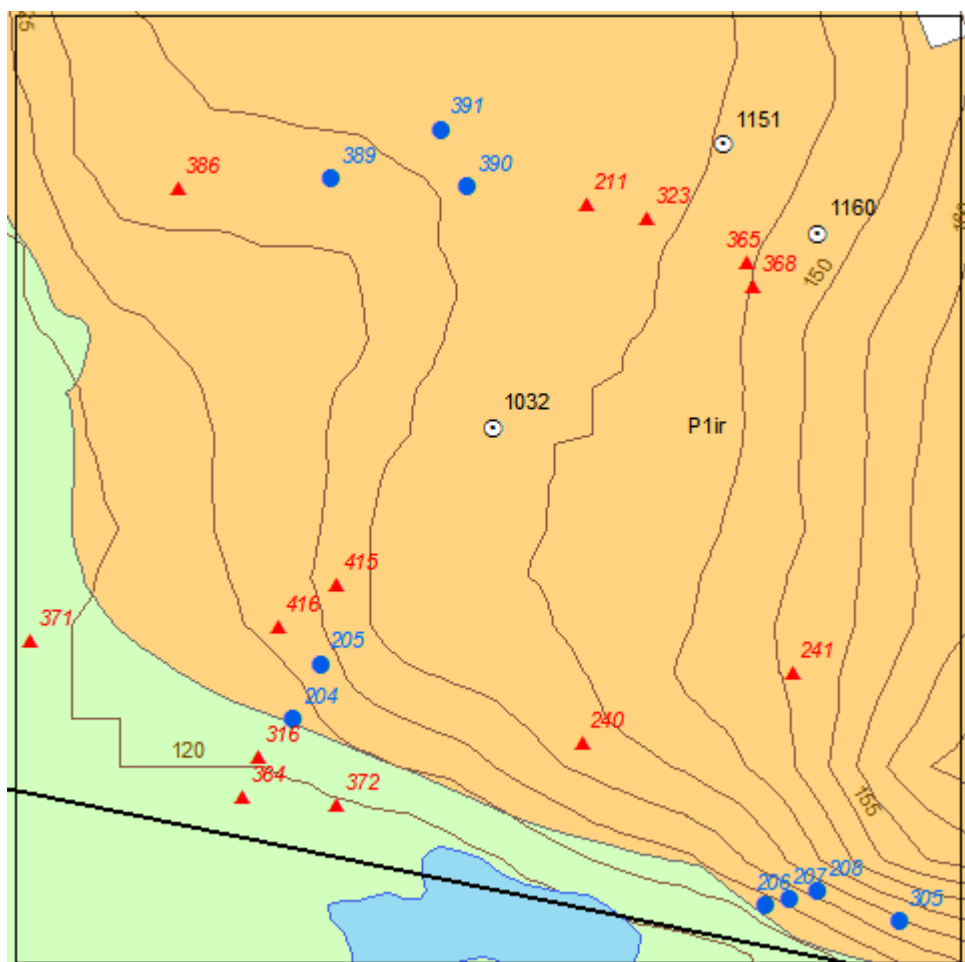
Вариант 16



Масштаб 1:10000

<p><u>С-1660</u> 139,7 м</p> <p>0-5 Суглинок аQ 5-15 Гравийный грунт аQ 15-21 Глина известковистая с щебнем N-Q 21-35 Ангидрит P_{lir} 35-40 Известняк P_{lir} 40-44 Ангидрит P_{lir} 44-45 Гипс трещиноватый P_{lir} 45-64 Ангидрит P_{lir} 64-66 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>С-1558</u> 116,7 м</p> <p>0-7 Суглинок аQ 7-30 Гравийный грунт аQ 30-38 Глыбы известняка, заполнитель глина N-Q 38-46 Известняк P_{lir} 46-60 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>С-3189</u> 119,6 м</p> <p>0-10 Суглинок аQ 10-35 Гравийный грунт с суглинистым заполнителем аQ 35-36 Доломит P_{lir} 36-36,5 Незаполненная полость 36,5-39 Полость, заполненная щебнем гипса и доломита 39-42 Гипс трещиноватый P_{lir} 42-45 Доломит P_{lir} 45-50 Доломит P_{lph}</p>
<p>Вода ▽31,1/▼29,2</p>	<p>Вода ▽6,0/▼3,5</p>	<p>Вода ▽7,7/▼7,7</p>

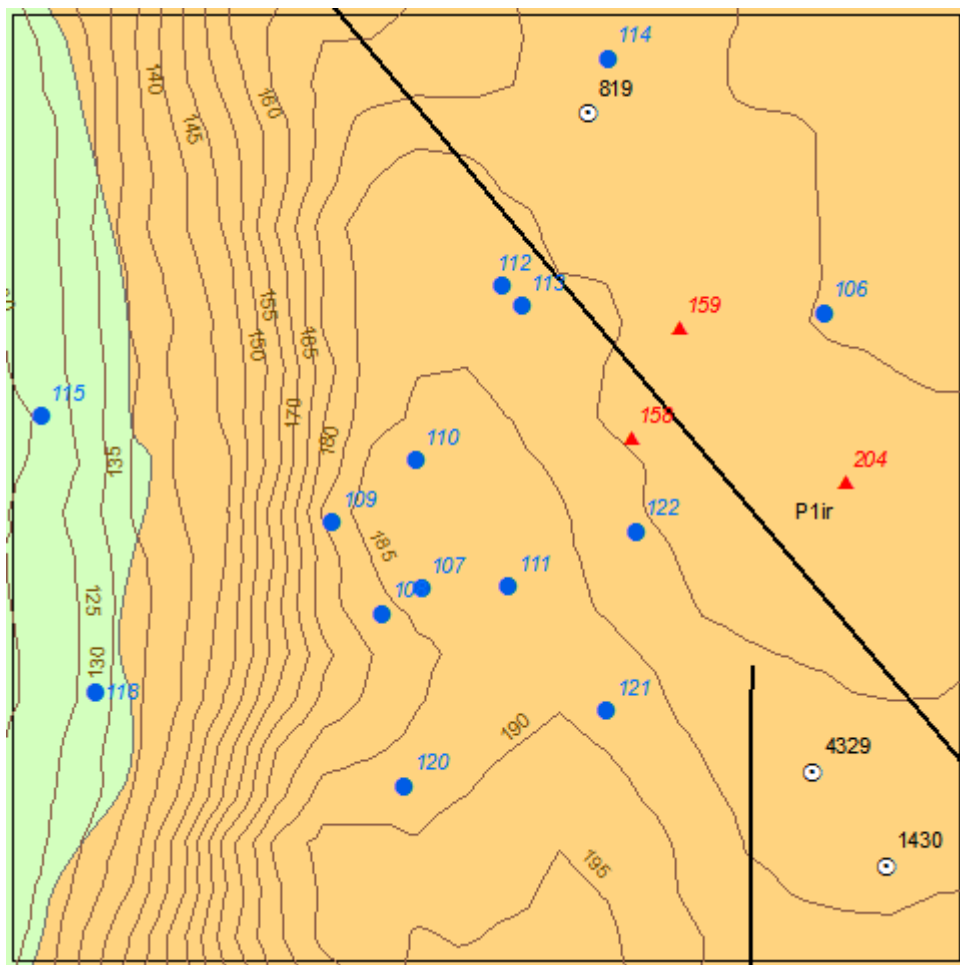
Вариант 17



Масштаб 1:10000

<p><u>C-1151</u> 141,2 м</p> <p>0-16 Суглинок аQ 16-25,5 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 25,5-26,5 Незаполненная полость 26,5-33 Щебень гипса и ангидрита, заполнитель глина N-Q 33-51 Ангидрит P_{lir} 51-55 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>C-1032</u> 140,0 м</p> <p>0-14 Суглинок аQ 14-25 Ангидрит P_{lir} 25-42 Доломит P_{lir} 42-54 Ангидрит P_{lir} 54-64 Доломит P_{lir} 64-75 Ангидрит P_{lir}</p>	<p><u>C-1160</u> 151,0 м</p> <p>0-9 Суглинок аQ 9-34 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 34-51 Ангидрит P_{lir} 51-55 Доломит P_{lir}</p>
<p>Вода ▽32,5/▼32,0</p>	<p>Вода ▽31,0/▼30,0</p>	<p>Вода ▽7,7/▼7,7</p>

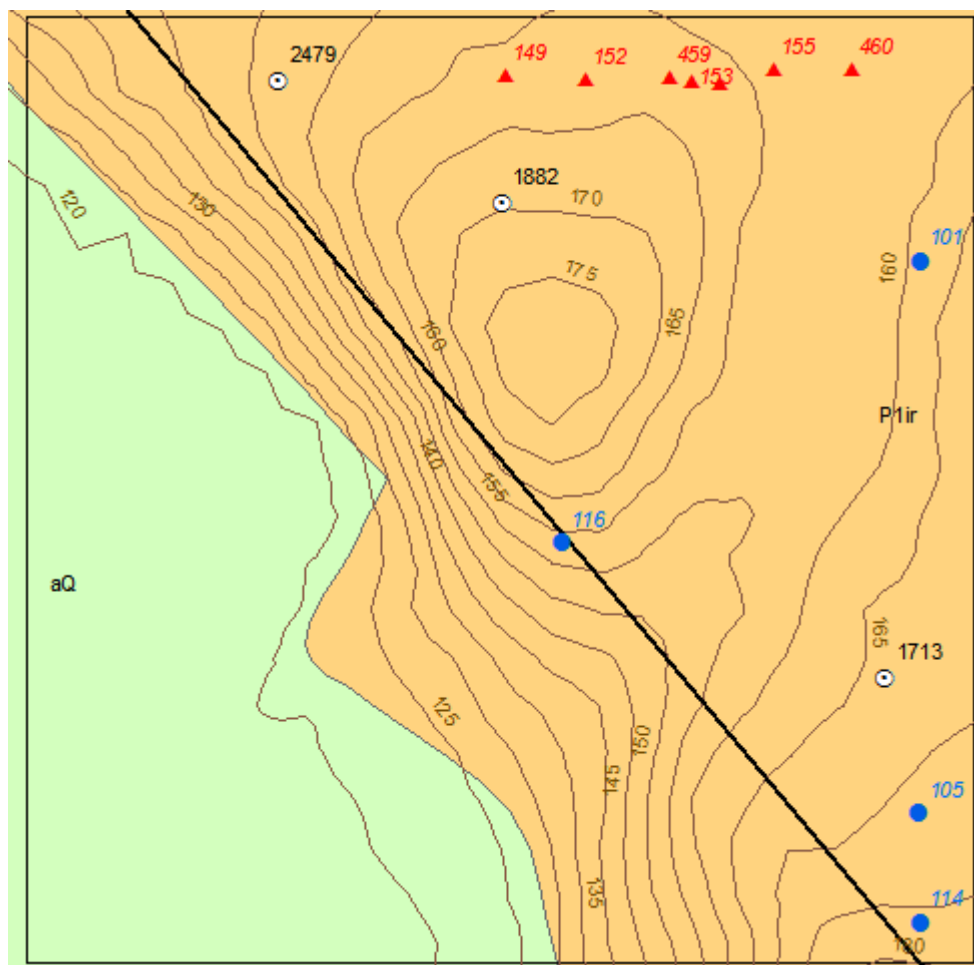
Вариант 18



Масштаб 1:10000

Масштаб 1:10000		
<u>C-819</u> 174,9 м 0-17 Суглинок аQ 17-31 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 31-32 Гипс P _{1ir} 32-34 Полость, заполненная глиной 34-36 Гипс P _{1ir} 36-55 Ангидрит P _{1ir} 55-65 Доломит P _{1ph}	<u>C-4329</u> 181,9 м 0-16 Суглинок аQ 17-32 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 32-37 Ангидрит P _{1ir} 37-45 Доломит P _{1ir} 45-80 Ангидрит P _{1ir}	<u>C-1430</u> 184,1 м 0-23 Суглинок аQ 23-38 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 38-42 Гипс P _{1ir} 42-51 Доломит P _{1ir} 51-63 Незаполненная по- лость 63-65 Полость, заполненная глиной 65-73 Полость, заполненная глиной 73-78 Доломит P _{1ir}
Воды нет	Воды нет	Вода ▽5,5/▼5,5 Вода ▽72,0/▼71,8

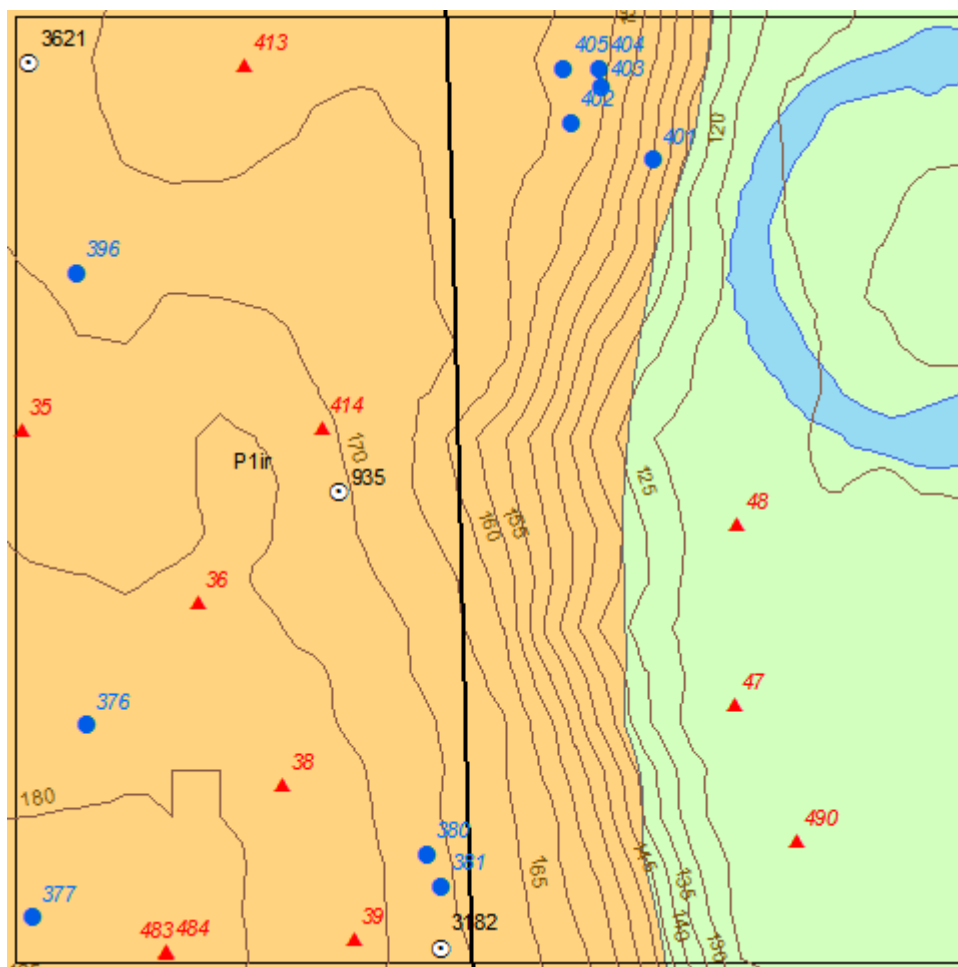
Вариант 19



Масштаб 1:10000

<p><u>C-2479</u> 152,9 м</p> <p>0-9 Суглинок аQ 9-12 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 12-21 Доломит P_{lir} 21-52 Ангидрит P_{lir} 52-60 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>C-1713</u> 162,9 м</p> <p>0-11 Суглинок аQ 11-21 Глина известковистая N-Q 21-28 Известняк P_{lir} 28-46 Гипсоангидрит P_{lir} 46-47 Известняк P_{lir} 47-52 Гипсоангидрит P_{lir} 52-55 Известняк P_{lir} 55-60 Доломит P_{lph}</p>	<p><u>C-1882</u> 167,4 м</p> <p>0-8 Суглинок аQ 8-20 Щебень известняка, заполнитель глина N-Q 20-23 Незаполненная полость 23-26 Ангидрит P_{lir} 26-32 Гипс P_{lir} 32-35 Полость, заполненная глиной 35-42 Ангидрит P_{lir} 42-48 Полость, заполненная глиной 48-60 Ангидрит P_{lir} 60-70 Доломит P_{lph}</p>
<p>Вода ▽42,5/▼42,1</p>	<p>Вода ▽48,0/▼47,0</p>	<p>Вода ▽57,2/▼56,0</p>










Вариант 20



Масштаб 1:10000

<p><u>C-3621</u> 166,5 м</p> <p>0-12 Суглинок аQ 12-28 Щебень доломита с суглинистым заполнителем N-Q 28-31 Ангидрит P_{1ir} 31-33 Гипс P_{1ir} 33-38 Незаполненная полость 38-46 Ангидрит P_{1ir} 46-50 Доломит P_{1ir} 50-54 Ангидрит P_{1ir} 54-58 Доломит P_{1ir}</p>	<p><u>C-935</u> 166,8 м</p> <p>0-11 Суглинок аQ 11-19 Песок аQ 19-38 Глина с щебнем доломита, N-Q 38-43 Гипс трещиноватый P_{1ir} 43-52 Ангидрит P_{1ir} 52-54 Доломит P_{1ir} 54-58 Ангидрит P_{1ir}</p>	<p><u>C-3182</u> 168,0 м</p> <p>0-6 Суглинок аQ 6-13 Глина с щебнем доломита, N-Q 13-15 Незаполненная полость 15-28 Гипс трещиноватый P_{1ir} 28-29 Полость, заполненная глиной 29-31 Доломит P_{1ir} 31-36 Гипс трещиноватый P_{1ir} 36-54 Ангидрит P_{1ir} 54-55 Доломит P_{1ir}</p>
Воды нет	Вода ▽44,0/▼42,5	Вода ▽32,0/▼31,5

Условные обозначения к картам

	Изолиния рельефа
	Крупные реки
	Тектонические нарушения
	Скважины
	Воронки
	Провалы
	Четвертичные отложения (Q)
	Гипсы и ангидриты иренского горизонта нижней перми (P1ir)
	Доломиты филипповского горизонта нижней перми (P1ph)

Исходные данные для анализа химического состава подземных вод

№скв/ глуб. отб. пробы	Анионы					Катионы						pH	CO ₂ св, мг/дм ³
	HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	Ca ²⁺ , мг/дм ³	Mg ²⁺ , мг/дм ³	Na+K ⁺ , мг/дм ³	Fe ₂ ²⁺ , мг/дм ³	Fe ₃ ²⁺ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³		
Вариант 1													
с-2311/60	70,85	1413,5	106,35			112,62	23,1	402,78			3,75	6,9	44
с-2207/39	561,36	734,53	283,6		0,5	392,78	48,77	211,37			2	7,28	33
Вариант 2													
с-3058/39	341,7	1522,14	113,44	7,5	2,5	651,32	60,8	60			1	7,73	44
с-3016/36	317,29	1602,79	212,7	3,5	0,1	851,7	18,24	14,07			2,1	7,67	23
Вариант 3													
3189/8,0	305	595,2	134,9	27,5		376	5,3	53,6			2	7	17,6
1487/32,0	439,33	1757,52	765,72	541,8	1,2	831,66	139,84	456,23			22,5	7,18	61,6
769/28,0	256,28	353,07	56,72	13,42	1,2	126,25	47,42	70,57		0,1	2,1	7,5	17,6
Вариант 4													
4357/6,0	207,46	137,44	28,36		0,5	82,16	13,38	41,84			1	8,55	17,4
4357/78,0	366,11	691,32	134,71			290,58	72,96	83,26			1,5	7,56	52,8
4357/79,0	366,15	675,68	141,8			300,6	60,8	92,46			0,7	7,75	35,2
Вариант 5													
863/29,0	463,74	1783,03	361,59	51,6	0,9	761,52	127,68	169,4			6,00	7,25	35,2
2479/43,0	219,66	1551,35	248,15			605,21	63,23	172,37				7,26	26,4
Вариант 6													
1734/25,0	354	2006	352			840	99	170,4				7,36	32,8
1349/42,0	451,53	1814,72	567,2	70	0,5	751,5	79,04	416,52			3,5	7,4	35,2
Вариант 7													
852/45,0	305,09	2092,48	1120,22	17,2	0,1	641,28	109,44	905,46			1	7,18	35,2
2097/35,0	256,27	1078,13	99,26			531,06	18,24	32,43			0,7	7,63	61,6
Вариант 8													
933/45,0	305,11	2087,43	1115,41	18,2	0,4	642,54	114,42	902,4			1,20	7,18	35,2
789/5,0	277,55	102,88	21,14			127,08	16,6	4,53				7,40	33,1
Вариант 9													
2311/48,0	244,07	205,75	14,18			134,26	19,45	4,37			3,00	7	44
3619/5,0	277,55	102,88	21,14			127,08	16,6	4,53				7,4	32,5
Вариант 10													
3056/35,0	341,7	1524,61	106,35	10,5	0,2	661,32	54,72	77,47			1	8,3	55,2
1979/34,0	500,35	1420,5	134,71		0,9	711,42	11,36	133,21		3,5	2	7	70,4

№скв/ глуб. отб. пробы	Анионы					Катионы						pH	CO ₂ св, мг/дм ³
	HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	Ca ²⁺ , мг/дм ³	Mg ²⁺ , мг/дм ³	Na+K ⁺ , мг/дм ³	Fe ₂ ²⁺ , мг/дм ³	Fe ₃ ²⁺ , мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³		
Вариант 11													
3510/63,0	323,4	9030,78	4680,32			621,24	1568,64	3801,63				7,5	22
4350/64,0	256,28	1933,64	326,14	232,2	0,6	661,32	115,52	341,84			7,5	8,02	14,2
Вариант 12													
1734/25,0	354	2006	352			840	99	170,4					32,80
4004/9,0	329,5	1328,32	233,97		0,5	633,26	31,61	123,05			2,1	7,1	44
1940/40,0	244,07	37,04	205,67			18,04	8,51	203,55			2,1	7,1	17,3
Вариант 13													
1148/45,0	268,5	3351,3	3474,1	8,00		781,6	164,2	2749			10	8,4	40,5
1032/33,0	244,07	1683,03	92,17	77,4	0,5	605,21	85,12	126,34		0,5	3	6,95	35,2
Вариант 14													
3056/35,0	341,7	1524,61	106,35	10,5	0,2	661,32	54,72	77,47			1	8,3	33,08
1979/34,0	500,35	1420,5	134,71		0,9	711,42		133,21		3,5	2	7	70,4
3187/7,0	134,2	1113,6	106,5	6,88	5,25	336	107,01	56,81			10	6,8	17,6
Вариант 15													
3189/8,0	305	595,2	134,9	27,5		376	5,3	53,6			2	7	17,6
1381/32,0	231,87	194,23	35,45	17,2		114,23	35,26	11,67			0,2	7,48	4,4
Вариант 16													
1558/7,0	256,28	136,62	35,45	84,4		130,26	24,32	20,06			0,4	7,38	26,4
3189/8,0	305	595,2	134,9	27,5		376	5,3	53,6			2	7	17,6
Вариант 17													
1032/33,0	244,07	1683,03	92,17	77,4	0,5	605,21	85,12	126,34		0,5	3	6,95	35,2
1151/50,0	268,5	3271,4	3899,5	40,00	0,5	791,6	127,7	3081,3			10	8,7	30,25
Вариант 18													
1430/5,8	366,11	128,8	49,63	51,6		172,34	17,02	20,22			0,5	7,26	38,2
1430/75,0	390,52	2294,94	170,16			581,16	255,36	196,86			7,5	7,92	2,2
Вариант 19													
2479/43,0	219,66	1551,35	248,15			605,21	63,23	172,37				7,26	26,4
1713/52,0	280,7	1448,1	56,7			621,2	36,5	53,1			0,8	7,3	17,4
1713/57,0	305,1	1397	49,6			589,18	43,8	56,8			0,4	7,3	13,2
Вариант 20													
3182/33,0	414,92	1029,16	106,35		7,5	370,74	54,72	180,24			10	8,02	23,4
935/45,0	219,66	3010,12	1347,1		0,5	631,26	121,6	1521,86			10,5	8,78	219,66

Каталог карстовых провалов

Номер провала	Координаты		Дата возникновения	Морфометрические параметры, в м					Форма
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
1	22172,08	4610,22	1983	6,00	6,00	1,20	28,26	33,91	воронкообразная
2	21960,40	4747,27	1959	3,00	2,00	0,50	7,07	3,53	чаша
3	21621,72	4864,39	1959	10,00	9,50	4,00	78,50	314,00	чаша
4	21581,88	4777,18	1939	5,00	4,50	2,50	19,63	49,06	цилиндрическая
5	21270,59	4612,72	1971	0,40	0,40	1,00	0,13	0,13	цилиндрическая
6	21302,97	4680,00	1971	2,00	1,00	0,60	3,14	1,88	корытообразная
7	21340,32	4732,32	1971	4,00	4,00	1,70	12,56	21,35	воронка
8	19758,98	4671,90	1963	3,00	3,00	1,00	7,07	7,07	неправильная
9	19805,05	4680,62	1963	2,00	1,50	0,50	3,14	1,57	чаша
10	19793,84	4718,00	1963	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	чаша
11	19841,16	4745,41	1963	3,00	2,00	1,00	7,07	7,07	воронка
12	19859,84	4812,68	1963	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	воронка
13	19811,28	4792,75	1963	1,50	1,50	1,00	1,77	1,77	чаша
14	19763,96	4769,08	1963	0,50	0,50	0,50	0,20	0,10	мешкообразная
15	19758,98	4716,75	1963	1,50	1,00	0,50	1,77	0,88	чаша
16	19714,15	4690,59	1963	2,00	1,50	0,50	3,14	1,57	воронка
17	19735,32	4760,36	1963	3,00	2,00	1,00	7,07	7,07	чаша
18	19780,15	4705,54	1963	2,00	1,50	0,80	3,14	2,51	мешкообразная
19	19793,84	4794,00	1963	2,00	2,00	0,50	3,14	1,57	неправильная
20	19684,27	4069,51	1975	3,65	3,30	1,30	10,46	13,60	мешкообразная
21	19609,56	3902,06	1971	1,00	1,00	0,70	0,79	0,55	мешкообразная
22	19607,07	4183,63	1976	2,70	2,70	2,20	5,72	12,59	колодец. оседание на юг 9,2*7,3
23	19649,41	4208,55	1984	3,50	3,50	1,30	9,62	12,50	воронка
24	19641,94	4273,34	1972	2,40	2,20	1,40	4,52	6,33	грушевидная. стенки нависают
25	19612,05	4268,35	1905	2,50	2,50		4,91		цилиндрическая
26	19597,11	4250,91	1984	1,50	1,50	0,70	1,77	1,24	цилиндрическая
27	19490,03	4168,68	1969	3,00	3,00	2,50	7,07	17,66	цилиндрический
28	19455,16	4188,61	1974	2,50	2,50	1,30	4,91	6,38	цилиндрическая
29	19472,60	4136,29	1965	3,20	3,00	2,50	8,04	20,10	цилиндрическая
30	19447,69	4146,25	1966	3,50	2,50	3,00	9,62	28,85	цилиндрическая
31	19435,24	4188,61	1976	5,00	4,00		19,63		котлообразная
32	19390,42	3884,61	1981	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	сложная
33	19363,02	3892,09	1981	2,50	2,50	1,50	4,91	7,36	чаша
34	19231,54	4029,14	1962	1,50	1,00	1,50	1,77	2,65	цилиндрическая
35	19024,41	3887,45	1981	2,00	1,50	1,00	3,14	3,14	мешкообразная
36	18616,07	4280,19	1982	2,20	1,20	0,60	3,80	2,28	воронка
37	18061,68	4312,06	1986	0,80	0,80	1,00	0,50	0,50	грушевидная
38	18424,05	4369,84	1984	1,50	1,50	0,30	1,77	0,53	блюдеобразный
39	18261,26	4445,53	1984	3,00	3,00	1,00	7,07	7,07	мешкообразная
40	19445,67	3268,53	1954	10,00	10,00	5,00	78,50	392,50	цилиндрическая
41	18298,02	3584,90	1939	4,50	4,00		15,90		цилиндрическая
42	17789,20	2414,49	1951	1,50	1,00	1,00	1,77	1,77	мешкообразная
43	17724,49	2749,99	1948	4,00	3,00	2,00	12,56	25,12	цилиндрическая
44	16864,49	3950,71	1964	1,20	1,00	0,80	1,13	0,90	чаша
45	19314,49	4744,57	1976	0,80	0,80	1,20	0,50	0,60	мешкообразная
46	19552,73	4816,67	1954	1,00	0,70	1,50	0,79	1,18	мешкообразная

Продолжение прилож. 3

Номер провала	Координаты		Дата возникновения	Морфометрические параметры, в м					Форма
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
47	18826,26	5391,28	1951	10,00	10,00	1,00	78,50	78,50	блюдец
48	18213,02	5421,07	1983	12,00	4,00	1,00	113,04	113,04	сложная
49	17673,31	6164,26	1957	4,00	4,00	0,40	12,56	5,02	блюдец
50	17299,04	6269,10	1989	3,00	2,50	1,50	7,07	10,60	воронка
51	17296,10	6042,49	1969	2,00	1,50	1,00	3,14	3,14	цилиндрическая
52	16202,57	6589,88	1965	4,00	3,00	2,00	12,56	25,12	блюдец
53	16173,16	6595,77	1965	1,20	1,00	0,80	1,13	0,90	блюдец
54	19819,89	6047,86	1983	0,10	0,10	0,70	0,01	0,01	грушевидная
55	19270,19	5737,94	1981	3,00	2,50	1,00	7,07	7,07	мешкообразная
56	19061,37	5719,18	1985	2,70	1,50	1,50	5,72	8,58	воронкообразная
57	18765,43	5738,21	1963	1,50	1,40	1,10	1,77	1,94	мешкообразная
58	18315,88	6143,37	1988	0,50	0,50	1,00	0,20	0,20	воронкообразная
59	17960,84	6255,96	1985	0,60	0,60	0,70	0,28	0,20	грушевидная, внизу расширяется до 2м.
60	16799,83	7165,72	1979	2,50	2,50	1,00	4,91	4,91	чашеобразная
61	18018,58	7291,42	1979	2,00	1,50	1,50	3,14	4,71	
62	17930,12	7379,18	1979	2,00	2,00	1,20	3,14	3,77	
63	19005,92	9230,41	1970	3,60	3,30	1,40	10,17	14,24	конус
64	17487,54	10069,40	1965	1,90	1,75	0,80	2,83	2,27	цилиндрическая
65	18056,92	9046,23	1967	1,50	1,40	1,10	1,77	1,94	чашеобразная
66	17677,84	6466,10	1940	0,50	0,50	1,50	0,20	0,29	мешкообразная
67	17609,03	6480,11	1984	1,20	1,20	1,00	1,13	1,13	грушевидная, вокруг просадка поперечником 4-5м.
68	17621,38	6470,64	1980	10,00	8,00	0,50	78,50	39,25	блюдеобразная
70	17838,45	6516,67	1949	2,00	1,90	0,60	3,14	1,88	мешкообразная
71	17826,68	6515,94	1971	1,00	0,80	5,50	0,79	4,32	неправильная
72	17805,36	6527,71	1972	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	мешкообразная
73	17771,54	6558,61	1959	1,50	1,50	0,25	1,77	0,44	чаша
74	17755,36	6570,38	1923	1,20	1,20	4,00	1,13	4,52	воронка
75	17690,65	6598,34	1966	1,50	1,50	1,00	1,77	1,77	мешкообразная
76	17486,98	6739,60	1973	2,00	2,00	2,00	3,14	6,28	цилиндрическая
77	17184,18	6937,30	1972	3,20	2,80	1,30	8,04	10,45	сложная
78	17241,54	6887,27	1971	1,50	1,50	1,00	1,77	1,77	чашеобразная
79	17915,51	6593,15	1976	1,00	1,00	0,60	0,79	0,47	мешкообразная
80	17876,90	6623,32	1979	2,50	1,50	3,50	4,91	17,17	мешкообразная
81	17821,39	6660,84	1979	1,50	1,00	1,20	1,77	2,12	мешкообразная
82	17837,27	6645,02	1974	2,60	2,60	1,50	5,31	7,96	мешкообразная
83	17813,37	6649,81	1986	3,00	1,00	0,15	7,07	1,06	чаша
84	17759,70	6784,89	1982	1,00	1,00	0,20	0,79	0,16	мешкообразная
85	17797,93	6851,99	1983	3,00	2,00	1,00	7,07	7,07	сложная
86	17814,48	6843,53	1984	5,20	3,30	1,00	21,23	21,23	блюдеобразный
87	17798,67	6842,79	1990	4,00	3,00	1,00	12,56	12,56	блюдеобразный
88	17749,77	6833,59	1990	1,00	1,00	0,80	0,79	0,63	мешкообразная
89	17679,33	6755,97	1966	1,80	0,80	0,80	2,54	2,03	мешкообразная
90	17733,74	6905,81	1985	2,00	2,00	0,15	3,14	0,47	блюдеобразный
91	17692,20	6929,35	1982	2,00	1,00	1,00	3,14	3,14	чашеобразная
92	17708,74	6896,98	1963	3,00	2,50	1,00	7,07	7,07	мешкообразная
93	17717,56	6921,26	1966	0,80	0,80	1,80	0,50	0,90	чашеобразная
94	17703,96	7007,45	1967	2,50	2,50	2,50	4,91	12,27	цилиндрическая
95	17500,29	6942,81	1971	1,00	0,50	1,00	0,79	0,79	мешкообразная

Продолжение прилож. 3

Номер провала	Координаты		Дата возникно- вения	Морфометрические параметры, в м					Форма Длина
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
96	17200,14	6917,43	1971	1,30	96	17200,14	6917,43	1971	1,30
97	17202,56	7081,43	1979	15,00	10,00	1,00	176,63	176,63	локальное оседа- ние
98	17165,06	7106,44	1974	2,50	2,50	2,50	4,91	12,27	мешкообразная
99	17089,33	7039,49	1973	1,00	1,00	0,50	0,79	0,39	чашеобразная
100	17115,06	7118,95	1974	1,50	1,00	0,50	1,77	0,88	мешкообразная
101	16881,98	7187,22	1979	1,50	1,30		1,77		мешкообразная
102	17835,65	7157,94	1985	2,00	1,50	1,00	3,14	3,14	воронка
103	17893,02	7377,81	1968	3,00	2,50	1,50	7,07	10,60	воронкообразная
104	17876,11	7377,44	1985	3,00	3,00	1,50	7,07	10,60	грушевидная с нависающими бортами
105	17879,05	7385,90	1990	2,10	1,50	0,80	3,46	2,77	воронкообразная
106	17644,62	7319,57	1987	0,90	0,80	3,00	0,64	1,91	мешкообразная
107	17574,33	7465,10	1988	2,00	2,00	2,00	3,14	6,28	мешкообразная
108	17566,43	7512,44	1920	5,00	5,00	5,00	19,63	98,13	блюдеобразная
109	18063,16	7683,04	1967	6,00	5,00	2,00	28,26	56,52	чаша
110	17998,45	7710,63	1932	2,50	2,00	1,50	4,91	7,36	чаша
111	17907,05	7761,03	1988	1,50	1,50	1,20	1,77	2,12	цилиндрическая
112	17988,16	7803,04	1964	0,20	0,20	4,50	0,03	0,14	мешкообразная
113	17874,85	7895,96	1987	2,20	2,00	1,50	3,80	5,70	цилиндрическая
114	18024,99	8074,74	1974	1,00	1,00	0,70	0,79	0,55	чашеобразная
115	18093,67	7934,39	1949	2,50	2,00	2,00	4,91	9,81	чашеобразная
116	17412,93	7882,63	1970	1,60	1,50	1,70	2,01	3,42	мешкообразная
117	17369,18	8016,13	1954	1,50	1,50	3,00	1,77	5,30	мешкообразная
118	17322,12	8026,43	1955	2,50	2,50	2,30	4,91	11,28	мешкообразная
119	17270,65	8083,82	1958	1,70	1,40	0,20	2,27	0,45	блюдеобразная
120	17232,42	7948,44	1980	3,00	2,00	0,80	7,07	5,65	воронка
121	17186,83	8088,23	1962	3,00	2,00	1,00	7,07	7,07	воронка
122	17158,15	8128,15	1985	2,00	2,00	2,00	3,14	6,28	чашеобразная
123	17091,61	8281,70	1985	1,00	1,00	3,00	0,79	2,36	мешкообразная
124	17092,34	8278,39	1959	1,30	1,00	1,50	1,33	1,99	мешкообразная
125	16976,31	8344,16	1964	2,50	2,50	2,00	4,91	9,81	мешкообразная
126	17395,66	8925,18	1974	1,50	1,50	1,00	1,77	1,77	неправильная
127	17500,96	8945,05	1979	5,20	5,00	4,50	21,23	95,52	мешкообразная
128	17403,16	8848,67	1979	2,00	2,00	2,00	3,14	6,28	мешкообразная
129	17575,43	8453,35	1959	1,00	1,00	2,50	0,79	1,96	мешкообразная
130	17703,06	8759,87	1960	2,00	1,00	3,00	3,14	9,42	мешкообразная
131	17429,93	8381,54	1960	3,80	3,60	2,50	11,34	28,34	чаша
132	17981,11	8787,85	1957	3,50	3,00	1,00	9,62	9,62	чашеобразная
133	18013,46	8788,59	1960	0,50	0,50	0,40	0,20	0,08	чаша
134	17994,34	8767,25	1955	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	чаша
135	17213,56	8709,81	1959	3,00	2,50	1,00	7,07	7,07	мешкообразная
136	17298,07	8752,79	1973	4,50	4,50	0,70	15,90	11,13	чаша
137	17447,33	8931,58	1988	1,50	1,50	1,00	1,77	1,77	мешкообразная
138	17248,51	9016,92	1988	3,00	2,50	2,00	7,07	14,13	чашеобразная
139	17273,51	9298,49	1957	2,50	2,00	1,00	4,91	4,91	чашеобразная
140	17218,80	9252,88	1957	1,00	0,90	0,70	0,79	0,55	мешкообразная
141	17035,71	9222,34	1947	0,50	0,50	4,50	0,20	0,88	мешкообразная
142	16994,54	9095,80	1986	1,90	1,70	5,60	2,83	15,87	мешкообразная
143	17534,54	9472,49	1971	2,00	2,00	1,50	3,14	4,71	чаша

Продолжение прилож. 3

Номер провала	Координаты		Дата возникновения	Морфометрические параметры, в м					Форма
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
144	17461,01	9519,58	1957	1,00	1,00	0,50	0,79	0,39	мешкообразная
145	17437,48	9419,52	1990	1,50	1,10	1,00	1,77	1,77	мешкообразная
146	17099,24	10565,21	1974	0,30	0,30	1,00	0,07	0,07	мешкообразная
147	17211,01	10780,04	1966	0,70	0,50	1,10	0,38	0,42	мешкообразная
148	16589,24	7525,15	1984	0,50	0,40	5,00	0,20	0,98	мешкообразная
149	16544,46	8102,12	1971	10,00	10,00	4,00	78,50	314,00	чаша
150	16869,24	8382,76	1958	2,20	2,00	1,30	3,80	4,94	мешкообразная
151	16791,30	8229,73	1961	2,80	2,50	2,50	6,15	15,39	мешкообразная
152	16589,19	8278,13	1962	1,80	1,50	4,00	2,54	10,17	мешкообразная
153	16474,07	8244,48	1990	2,60	2,35	3,00	5,31	15,92	мешкообразная
154	16475,54	8261,40	1965	1,50	1,50	1,20	1,77	2,12	цилиндрическая
155	16504,96	8271,70	1965	2,00	1,50	1,00	3,14	3,14	чаша
156	16529,96	8948,21	1971	0,40	0,40	0,50	0,13	0,06	мешкообразная
157	16529,96	9965,59	1984	2,50	2,00		4,91		щелевидная
158	15217,90	8677,90	1971	3,90	1,90	3,80	11,94	45,37	мешкообразная
159	15332,60	8729,40	1986	3,00	3,00	1,80	7,07	12,72	мешкообразная
160	15137,02	9071,82	1953	1,50	1,50	1,50	1,77	2,65	цилиндрическая
161	14135,25	8693,65	1980	0,25	0,25	0,80	0,05	0,04	сложная
162	14279,37	8879,05	1976	3,00	2,50	3,00	7,07	21,20	чашеобразная
163	14132,31	8887,88	1978	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	мешкообразная
164	14108,78	8890,82	1978	2,60	2,60	1,00	5,31	5,31	мешкообразная
165	13976,43	8814,31	1979	2,10	1,60	3,50	3,46	12,12	грушевидная, на глубине 2м 3,5*3
166	22884,65	4311,02	1971	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	мешкообразная
167	22796,41	5341,05	1952	10,00	8,00		78,50		чаша
168	22937,59	5976,73	1971	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	мешкообразная
169	22884,65	6059,13	1971	0,50	0,50	1,50	0,20	0,29	мешкообразная
170	21449,35	5517,63	1989	2,00	1,50	0,70	3,14	2,20	мешкообразная
171	20538,38	6647,61	1989	4,00	3,00	2,60	12,56	32,66	мешкообразная
172	20235,11	6801,95	1978	12,00	10,00	2,50	113,04	282,60	воронкообразная с уступами оседаний
173	20713,59	7110,61	1980	7,20	6,50	2,20	40,69	89,53	сложная
174	20702,20	7111,71	1972	1,25		1,25	1,23	1,53	воронкообразная
175	20509,18	7239,55	1990	7,00	3,00	0,50	38,47	19,23	мешкообразная
176	19450,06	6062,66	1955	1,00	0,90	1,00	0,79	0,79	мешкообразная
177	19481,09	6398,34	1984	5,00	5,00	0,15	19,63	2,94	блюдеобразная
178	19174,33	6152,61	1990	12,00	10,00	2,00	113,04	226,08	мешкообразная
179	18369,99	7173,62	1984	2,00	2,00	5,00	3,14	15,70	мешкообразная
180	17154,25	8104,70	1989	1,50	1,50	2,00	1,77	3,53	воронкообразная
181	17148,74	8106,54	1990	4,00	3,00	2,60	12,56	32,66	мешкообразная
182	17145,06	8115,36	1999	10,00	7,00	0,50	78,50	39,25	блюдеобразная
183	17187,75	8154,30	1999	10,00	10,00	0,50	78,50	39,25	блюдеобразная
184	17203,37	8175,09	1990	1,50	1,50	0,60	1,77	1,06	мешкообразная
185	17083,96	7982,66	1988	7,00	3,00	0,50	38,47	19,23	блюдеобразная
186	17320,95	7761,57	2001	1,00	1,00	4,20	0,79	3,30	мешкообразная
187	16012,94	9624,95	1999	5,30	5,00	2,50	22,05	55,13	мешкообразная
188	18285,71	6778,13	2001	9,00	9,00	4,50	63,59	286,13	цилиндрическая
189	15883,20	9537,82	2000	3,00	2,80	3,50	7,07	24,73	мешкообразная
190	20178,18	6671,02	2000	6,50	6,00	2,00	33,17	66,33	цилиндрическая
191	17231,18	9106,39	2000	2,00	1,50	2,00	3,14	6,28	цилиндрическая
192	15906,92	9767,08	1999	3,00	2,80	3,50	7,07	24,73	чашеобразная
193	15873,09	9380,60	2000	2,00	1,50	2,00	3,14	6,28	чашеобразная

Продолжение прилож. 3

Номер провала	Координаты		Дата возникновения	Морфометрические параметры, в м					Форма
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
194	16625,12	8344,96	2000	3,00	2,80	3,50	7,07	24,73	чашеобразная
195	9045,71	11209,55	2000	9,00	7,00	6,00	63,59	381,51	цилиндрическая
196	17429,95	8375,31	2000	3,00	2,00	0,50	7,07	3,53	чашеобразная
197	17444,28	8402,17	2000	1,00	0,50	1,00	0,79	0,79	колодцеобразная
198	17417,08	8397,38	2000	2,00	1,00	0,30	3,14	0,94	чашеобразная
199	20818,11	7395,01	2000	3,00	2,00	4,00	7,07	28,26	чашеобразная
200	16043,21	9792,11	2001	3,00	2,00	4,00	7,07	28,26	цилиндрическая
201	17110,25	8273,91	2001	1,20	1,20	0,80	1,13	0,90	мешкообразная
202	17903,73	7635,77	2001	1,50	1,50	1,60	1,77	2,83	чашеобразная
203	17428,11	8407,69	2001	3,00	2,00	4,00	7,07	28,26	чашеобразная
204	15170,68	8904,27	2001	21,00	20,00	1,00	346,19	346,19	цилиндрическая
205	22939,82	6490,66	1989	2,00	1,50	2,00	3,14	6,28	чашеобразная
206	17693,48	6919,81	1982	6,00	5,00	1,00	28,26	28,26	блюдеобразный
207	20154,93	7807,07	1971	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	цилиндрическая
208	20008,52	7780,70	1970	0,30	0,30	1,00	0,07	0,07	неправильная
209	20002,76	7797,18	1971	2,00	2,00	0,50	3,14	1,57	чаша
210	19994,52	7815,31	1971	0,30	0,30	0,50	0,07	0,04	мешкообразная
211	19833,45	7695,84	1971	1,00	0,80	0,50	0,79	0,39	мешкообразная
212	21336,89	9185,47	1971	3,90	3,70	2,60	11,94	31,04	цилиндрическая
213	20430,75	9383,22	1953	8,00	6,00	3,50	50,24	175,84	чаша
214	20861,59	11071,00	1971	4,00	4,00	2,00	12,56	25,12	цилиндрическая
217	19839,18	8804,64	1971	0,50	0,50	0,50	0,20	0,10	цилиндрическая
218	19742,02	9215,13	1970	0,50	0,50	0,50	0,20	0,10	чаша
219	19756,84	9215,13	1960	5,30	2,00	1,50	22,05	33,08	воронка
220	19742,02	9177,23	1960	5,00	2,30	2,40	19,63	47,10	колодец
221	19725,55	9187,12	1960	3,80	2,40	0,80	11,34	9,07	мешкообразная
222	19723,90	9234,91	1960	5,00	2,00	1,00	19,63	19,63	мешкообразная
223	19740,37	9221,72	1960	1,20	1,00	0,50	1,13	0,57	мешкообразная
224	19545,05	9938,06	1967	4,00	3,00	1,00	12,56	12,56	неправильная
225	19776,60	9180,53	1971	6,00	6,00	5,00	28,26	141,30	сложная
226	19783,19	9213,48	1971	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	цилиндрическая
227	19738,72	9295,88	1970	3,00	3,00	4,00	7,07	28,26	мешкообразная
228	19758,48	9282,70	1970	0,50	0,50	0,50	0,20	0,10	мешкообразная
229	19964,35	9378,11	1965	1,50	1,50	0,70	1,77	1,24	чаша
230	19748,60	9353,56	1969	3,00	2,00	1,50	7,07	10,60	чаша
231	19738,72	9384,87	1969	2,00	1,50	1,20	3,14	3,77	чаша
232	19786,15	9587,56	1964	6,00	5,50	2,00	28,26	56,52	стенки отвесные
233	19832,27	9579,32	1965	6,10	4,90	2,00	29,21	58,42	стенки отвесные
234	19817,44	9625,46	1965	6,40	6,10	1,00	32,15	32,15	стенки отвесные
235	19781,21	9632,05	1965	1,00	0,80	0,90	0,79	0,71	мешкообразная
236	19799,33	9653,47	1965	1,50	0,85	0,30	1,77	0,53	мешкообразная
237	19820,74	9676,54	1965	1,00	0,85	0,30	0,79	0,24	мешкообразная
238	19919,55	9637,00	1943	15,00	15,00	7,00	176,63	1236,38	цилиндрическая
239	20102,69	9704,56	1964	3,00	2,00	0,70	7,07	4,95	воронка
240	19264,62	7691,47	1950	5,00	5,00	3,00	19,63	58,88	чашеобразная
241	19338,73	7913,93	1963	18,00	15,00	1,90	254,34	483,25	корытообразная
242	19558,22	8463,03	1971	6,00	4,00	2,00	28,26	56,52	мешкообразная
243	19534,71	8450,48	1971	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	воронка
244	19518,24	8415,87	1966	4,00	1,00	0,70	12,56	8,79	сложная
245	19513,30	8425,76	1971	1,00	1,00	0,50	0,79	0,39	мешкообразная
246	19450,72	8432,35	1971	1,00	1,00	0,50	0,79	0,39	мешкообразная

Продолжение прилож. 3

Номер провала	Координаты		Дата возникновения	Морфометрические параметры, в м					Форма
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
247	19343,67	8361,49	1971	1,00	1,00	0,30	0,79	0,24	мешкообразная
248	19250,25	9084,95	1971	2,00	2,00	1,40	3,14	4,40	воронка
249	19490,70	9325,54	1965	1,00	1,00	0,70	0,79	0,55	мешкообразная
250	19396,82	9233,26	1965	1,50	1,50	1,00	1,77	1,77	мешкообразная
251	19643,86	9572,73	1970	2,00	1,50	2,00	3,14	6,28	мешкообразная
252	19693,27	9244,79	1971	4,00	3,50	1,10	12,56	13,82	мешкообразная
253	19699,86	9266,22	1971	3,00	1,00	3,50	7,07	24,73	мешкообразная
254	19663,62	9241,50	1971	1,00	1,00	0,30	0,79	0,24	чаша
255	19585,77	8536,17	1971	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	мешкообразная
256	19312,17	9913,35	1993	6,00	6,00	2,00	28,26	56,52	чаша
257	19239,05	9928,18	1965	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	мешкообразная
258	19240,70	10061,66	1954	1,20	0,80	0,80	1,13	0,90	мешкообразная
259	19078,97	10401,95	1962	1,50	1,50	4,00	1,77	7,07	мешкообразная
260	19008,15	10489,29	1969	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	воронка
261	19072,38	10754,60	1971	3,00	3,00	1,00	7,07	7,07	чаша
262	19485,10	10153,94	1970	3,00	2,00	1,00	7,07	7,07	неправильная
263	19641,55	10150,64	1964	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	цилиндрическая
264	19748,60	10066,60	1964	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	прямоугольная яма
265	19710,72	10672,20	1971	3,00	2,00	0,50	7,07	3,53	неправильная
266	19466,65	10888,08	1971	6,00	6,00	4,00	28,26	113,04	воронка
267	19386,94	10944,11	1971	2,00	1,00	1,00	3,14	3,14	чаша
268	19367,18	10949,05	1971	0,30	0,30	1,00	0,07	0,07	цилиндрическая
269	19200,84	11008,38	1969	3,00	2,00	1,00	7,07	7,07	мешкообразная
270	19181,08	11006,73	1969	4,00	4,00	2,00	12,56	25,12	сложная
271	19158,02	11033,10	1970	1,00	0,50	0,70	0,79	0,55	мешкообразная
272	19250,25	11034,74	1971	1,50	1,00	0,50	1,77	0,88	западнее
273	19511,66	8309,75	1971	1,00	0,80	0,70	0,79	0,55	мешкообразная
274	20292,42	11894,95	1962	5,00	4,00	2,50	19,63	49,06	боченкообразная, цилиндрическая
283	17553,15	6984,30	1968	0,50	0,40	0,50	0,20	0,10	мешкообразная
296	17161,16	7042,50	1967	2,50	2,50	2,50	4,91	12,27	стенки отвесные
304	19838,20	9318,29	1971	2,00	2,00	3,00	3,14	9,42	неправильная
305	19414,49	8377,97	1990	6,00	6,00	1,00	28,26	28,26	чашеобразная
306	19704,80	9302,47	1982	0,30	0,20	0,50	0,07	0,04	боченкообразная
307	19485,31	8560,88	1981	3,00	1,00	0,70	7,07	4,95	мешкообразная
308	19554,93	8510,82	1979	5,00	4,50	1,00	19,63	19,63	мешкообразная
309	19575,88	8536,17	1982	2,10	2,00	1,50	3,46	5,19	мешкообразная
310	19566,00	8546,05	1982	0,50	0,30	0,70	0,20	0,14	грушевидная
311	19566,00	8532,87	1982	0,60	0,50	0,40	0,28	0,11	мешкообразная
312	19490,25	8415,87	1971	0,90	0,80	0,40	0,64	0,25	мешкообразная
313	19531,42	8407,63	1995	1,30	1,00	0,30	1,33	0,40	мешкообразная
314	19531,42	8397,74	2003	1,00	0,50	0,60	0,79	0,47	мешкообразная
315	19080,17	8252,73	1999	2,30	2,00	0,50	4,15	2,08	чашеобразная
316	19249,80	7348,71	2001	0,90	0,90	1,00	0,64	0,64	мешкообразная
318	19986,95	7816,71	2000	1,60	1,50	0,50	2,01	1,00	мешкообразная
319	19978,38	7831,79	2004	0,50	0,50	0,20	0,20	0,04	мешкообразная
320	17988,50	6055,93	1983	15,00	15,00	1,00	176,63	176,63	вертикальное оседание по дуге участка дамбы
321	19016,93	8536,17	1984	1,50	1,5	1,00	1,77	1,77	мешкообразная
322	16867,18	8160,13	1986	1,50	1,50	4,00	1,77	7,07	цилиндрическая
323	19817,65	7761,17	1986	2,00	1,50	0,70	3,14	2,20	мешкообразная

Продолжение прилож. 3

Номер провала	Координаты		Дата возникновения	Морфометрические параметры, в м					Форма
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
324	19199,19	10762,84	1986	1,00	0,70	3,00	0,79	2,36	грушевидная
325	18988,39	10579,92	1971	2,50	2,00	1,00	4,91	4,91	воронкообразная
326	19857,30	10193,49	1964	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	мешкообразная
327	19217,64	10015,52	1963	9,00	3,00	1,70	63,59	108,09	чаша
328	19511,78	9329,83	1976	1,00	1,00	0,30	0,79	0,24	неправильная.
329	19844,78	9257,32	1970	0,50	0,50	0,50	0,20	0,10	чаша
330	19727,19	9175,58	1970	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	неправильная
331	19998,93	9071,76	1967	1,00	1,00	0,50	0,79	0,39	неправильная
332	20035,83	9016,72	1967	6,00	5,50	2,40	28,26	67,82	воронка
333	19648,80	8695,38	1974	4,00	2,00	1,50	12,56	18,84	мешкообразная.
334	19545,05	9241,50	1967	2,00	2,00	3,00	3,14	9,42	мешкообразная
335	19515,40	9241,50	1967	0,90	0,70	0,40	0,64	0,25	мешкообразная
336	19424,82	9108,02	1967	4,50	4,00	0,80	15,90	12,72	чаша
337	19386,94	9099,78	1967	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	воронка
338	19344,12	9084,95	1967	0,50	0,50	0,50	0,20	0,10	мешкообразная
339	19498,48	8547,70	1967	1,00	1,00	0,30	0,79	0,24	мешкообразная
340	19546,24	8396,10	1970	1,70	1,40	0,50	2,27	1,13	мешкообразная
341	19534,71	8414,22	1970	2,00	1,00	0,35	3,14	1,10	чашеобразная
342	19526,48	8442,24	1970	2,10	2,00	0,40	3,46	1,38	неправильная
343	19524,83	8415,87	1970	3,70	3,00	0,70	10,75	7,52	неправильная
344	19514,95	8404,34	1970	6,00	5,20	1,20	28,26	33,91	воронка
345	19513,30	8435,64	1970	3,00	1,70	0,60	7,07	4,24	неправильная
346	19506,71	8434,00	1971	4,00	3,50	1,10	12,56	13,82	воронка
347	19482,01	8473,55	1967	1,00	1,00	1,60	0,79	1,26	воронка
348	19440,84	8376,32	1971	1,00	1,00	1,30	0,79	1,02	мешкообразная
349	19269,56	8448,83	1967	2,20	2,00	1,00	3,80	3,80	воронка
350	19262,98	8518,04	1967	6,00	5,00	0,85	28,26	24,02	чаша
351	19189,85	8475,19	1967	1,00	1,00	0,30	0,79	0,24	чаша
352	19105,86	8600,43	1967	3,00	2,50	1,20	7,07	8,48	мешкообразная
353	19033,40	8442,24	1967	0,30	0,30	0,30	0,07	0,02	мешкообразная
354	19142,09	8404,34	1967	2,20	2,00	0,50	3,80	1,90	чаша
355	19104,87	8348,31	1967	3,50	2,60	0,90	9,62	8,65	чаша
356	19116,40	8377,97	1967	3,50	3,50	1,70	9,62	16,35	мешкообразная
357	19124,64	8396,10	1967	1,50	1,50	1,50	1,77	2,65	мешкообразная
358	19134,52	8312,05	1967	1,00	1,00	0,20	0,79	0,16	чаша
359	19142,75	8335,12	1967	1,50	1,50	0,50	1,77	0,88	чаша
360	19141,11	8349,96	1967	1,00	1,00	0,30	0,79	0,24	воронка
361	19137,81	8237,90	1967	1,00	1,00	0,20	0,79	0,16	воронка
362	19150,99	8251,08	1967	1,60	1,20	0,40	2,01	0,80	воронка
363	19114,76	8274,15	1967	1,20	1,00	0,70	1,13	0,79	неправильная
364	19206,98	7333,22	1973	1,00	1,00	4,00	0,79	3,14	грушевидная
365	19771,53	7864,99	1973	2,50	2,00	4,00	4,91	19,63	колодцеобразная
366	20858,15	7882,46	1968	1,50	1,00	0,70	1,77	1,24	мешкообразная
367	20427,33	7038,08	1960	20,00	15,00	4,50	314,00	1413,00	воронка
368	19746,83	7873,23	1967	2,30	2,00	1,00	4,15	4,15	воронка
369	19597,75	8715,16	1974	3,00	2,00	1,00	7,07	7,07	чаша
370	19442,62	9365,64	1976	1,50	1,50	0,80	1,77	1,41	неправильная
371	19371,67	7109,11	1976	1,00	1,00	0,80	0,79	0,63	грушевидная
372	19198,75	7432,75	1975	0,50	0,50	0,50	0,20	0,10	грушевидная
373	19374,67	7109,75	1947	4,00	4,00	4,00	12,56	50,24	мешкообразная
374	19549,99	8497,63	1979	5,00	4,50	1,00	19,63	19,63	мешкообразная

Продолжение прилож. 3

Номер провала	Координаты		Дата возникновения	Морфометрические параметры, в м					Форма
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
375	20764,28	9149,35	1981	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	мешкообразная
376	21292,60	9643,39	1979	3,00	3,00	2,00	7,07	14,13	цилиндрическая
377	20195,77	9761,71	1975	3,00	3,00	2,00	7,07	14,13	цилиндрическая
378	19378,05	10480,23	1979	2,00	0,70	0,50	3,14	1,57	неправильная
379	19714,02	10662,32	1979	2,00	2,00	0,50	3,14	1,57	неправильная
380	0,00	0,00	1979	5,00	5,00	8,00	19,63	157,00	чашеобразная
381	0,00	0,00	1971	1,00	1,00	0,70	0,79	0,55	мешкообразная
382	17289,97	8065,89	1977	0,50	0,50	0,30	0,20	0,06	чашеобразная
383	17239,97	8085,02	1983	1,50	1,20	1,00	1,77	1,77	чашеобразная
384	17638,32	7192,15	1986	3,50	3,50	1,00	9,62	9,62	блюдеобразный
385	17607,89	7331,03	1985	1,00	1,00	1,00	0,79	0,79	мешкообразная
386	19985,39	6941,09	1984	3,00	3,00	1,00	7,07	7,07	мешкообразная
389	20914,15	7919,37	1971	4,00	4,00	2,50	12,56	31,40	колодцеобразная
390	20874,62	7868,28	1971	3,00	3,00	1,00	7,07	7,07	воронка
391	20202,36	7888,06	1963	8,00	8,00	2,00	50,24	100,48	цилиндрическая
392	20189,19	7925,96	1971	2,00	2,00	1,00	3,14	3,14	мешкообразная
397	19329,30	11298,90	1971	1,00	0,80	0,70	0,79	0,55	мешкообразная
398	20463,56	7163,32	1971	2,00	1,40	1,00	3,14	3,14	мешкообразная
399	20863,75	8997,42	1983	2,00	2,00	5,00	3,14	15,70	цилиндрическая
400	21317,64	9224,83	1971	1,00	0,80	0,70	0,79	0,55	мешкообразная
401	21319,28	9249,55	1971	0,70	0,40	1,00	0,38	0,38	мешкообразная
402	21327,52	9270,97	1970	2,00	1,00	1,00	3,14	3,14	мешкообразная
404	17105,29	6592,01	2002	2,50	2,00	0,80	4,91	3,93	цилиндрическая
405	19162,80	10472,25	2002	5,60	5,00	7,00	24,62	172,32	грушевидная
406	18523,00	6232,00	2002	1,00	1,00	0,40	0,79	0,31	грушевидная
407	20176,00	7688,00	2002	1,50	1,50	0,80	1,77	1,41	грушевидная
408	19361,00	4682,00	2002	1,00	0,80	0,70	0,79	0,55	колодцеобразная
409	17495,28	6022,08	2002	6,00	4,00	2,00	28,26	56,52	цилиндрическая
410	17734,17	8353,13	2002	3,00	2,00	0,80	7,07	5,65	цилиндрическая
411	17734,20	8380,39	1999	3,00	2,00	0,80	7,07	5,65	чашеобразная
412	17776,15	6589,35	2002	3,00	2,00	0,30	7,07	2,12	блюдеобразная
413	19183,40	4329,40	2003	3,70	3,40	2,50	10,75	26,87	цилиндрическая
414	18800,00	4411,00	2003	3,00	3,00	1,30	7,07	9,18	грушевидная
415	19431,00	7431,00	2003	2,30	1,80	4,50	4,15	18,69	сложная
416	19386,00	7370,00	2003	1,00	0,80	3,10	0,79	2,43	наклонная, попор
417	17027,00	7478,00	2003	7,00	4,00	0,10	38,47	3,85	блюдеобразная
418	17773,00	6844,40	2003	4,00	2,00	1,50	12,56	18,84	цилиндрическая
419	19036,00	5779,00	2003	1,50	1,50	1,30	1,77	2,30	цилиндрическая
420	16622,70	7946,30	2003	3,50	1,90	2,50	9,62	24,04	сложная
421	17064,50	5096,97	2003	1,80	1,60	0,60	2,54	1,53	цилиндрическая
422	17795,00	6868,00	2003	1,70	1,40	0,80	2,27	1,81	цилиндрическая
423	18612,00	6113,00	2003	15,00	14,00	6,00	176,63	1059,75	цилиндрическая
424	17787,15	6619,92	2004	3,20	1,70	0,30	8,04	2,41	блюдеобразная
425	17222,00	7131,00	2004	0,50	0,30	0,50	0,20	0,10	блюдеобразная
426	18517,49	5872,68	1996	1,00	0,75	1,50	0,79	1,18	цилиндрическая
427	18517,00	5870,00	1996	0,30	0,25	0,80	0,07	0,06	цилиндрическая
428	17755,56	3259,65	1996	2,00	1,50	3,65	3,14	11,46	мешкообразная
429	20652,60	7251,97	1995	2,00	1,50	2,00	3,14	6,28	чашеобразная
430	20608,54	7264,63	1986	2,00		0,50	3,14	1,57	чашеобразная
431	20670,73	7239,31	1976	2,00		0,50	3,14	1,57	чашеобразная
432	20691,98	7246,70	1997	1,50	1,50	1,30	1,77	2,30	цилиндрическая
433	20721,79	7235,09	2000	1,30		1,00	1,33	1,33	цилиндрическая

Продолжение прилож. 3

Номер провала	Координаты		Дата возникнове- ния	Морфометрические параметры, в м					Форма
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
434	20751,98	7213,78	1995	1,50	1,50	1,30	1,77	2,30	цилиндрическая
436	17314,75	6019,80	1988	3,00		1,50	7,07	10,60	чашеобразная
437	16952,93	7568,00	1994	0,25		1,30	0,05	0,06	мешкообразная
438	18266,30	5803,57	2004	2,70	1,80	1,80	5,72	10,30	цилиндрическая
439	17644,85	7308,92	1988	3,00	2,00	2,50	7,07	17,66	сложная
440	17942,80	7380,70	1988	2,50	2,50	1,00	4,91	4,91	чашеобразная
441	17435,68	8400,37	1996	1,00		0,70	0,79	0,55	чашеобразная
442	17604,65	6572,72	1988	1,50	1,00	0,60	1,77	1,06	чашеобразная
443	17724,59	6927,86	1983	0,20		1,00	0,03	0,03	чашеобразная
444	17727,75	6932,93	1985	1,50	1,00	0,60	1,77	1,06	чашеобразная
445	16702,08	7858,96	1985	1,50		1,00	1,77	1,77	блюдеобразная
446	16708,61	7712,07	1986	1,00		1,50	0,79	1,18	мешкообразная
447	16711,99	7749,53	1985	0,60		0,50	0,28	0,14	чашеобразная
448	16645,56	7496,14	1986	0,20		1,00	0,03	0,20	чашеобразная
449	17922,79	7785,48	1969	5,00		3,00	19,63	58,88	чашеобразная
450	17313,58	5099,55	1980	2,50		1,10	4,91	5,40	чашеобразная
451	19608,49	4789,80	1989	2,50	2,50	2,50	4,91	12,27	чашеобразная
452	19624,93	4826,93	1989	4,00	3,50	1,00	12,56	12,56	чашеобразная
453	19663,09	4860,89	1989	2,50	2,50	2,50	4,91	12,27	чашеобразная
454	19991,81	5083,86	1992	2,00		1,60	3,14	5,02	чашеобразная
455	19999,82	5093,99	1992	3,00	2,20	3,00	7,07	21,20	чашеобразная
456	19983,80	5066,98	1992	0,70		0,50	0,38	0,19	чашеобразная
457	19989,60	5070,25	1992	3,00	2,50	0,50	7,07	3,53	чашеобразная
458	20018,80	5091,67	1992	11,00	7,00	2,00	94,99	189,97	чашеобразная
459	16475,09	8227,90	1990	1,50	1,50	1,30	1,77	2,30	цилиндрическая
460	16473,92	8419,53	1990	2,50		1,00	4,91	4,91	мешкообразная
461	16369,70	7163,28	1992	1,50	1,50	1,30	1,77	2,30	цилиндрическая
462	18111,62	6766,17	2004	0,36	0,30	0,50	0,10	0,05	цилиндрическая
463	19923,88	9524,32	2003	2,80	2,00	3,00	6,15	18,46	мешкообразная
464	17003,21	8297,71	1988	3,00		1,00	7,07	7,07	чашеобразная
465	16472,97	9566,88	1991	1,50	1,50	1,30	1,77	2,30	цилиндрическая
466	18517,50	5872,60	1996	2,50	2,50	4,50	4,91	22,08	чашеобразная
467	17887,86	7415,90	1993	1,20		1,00	1,13	1,13	блюдеобразная
468	17907,05	7435,31	1992	3,00		2,00	7,07	14,13	чашеобразная
469	17272,54	7935,67	1938	1,50		2,00	1,77	3,53	чашеобразная
470	17326,52	7975,34	1971	1,50	1,50	1,30	1,77	2,30	цилиндрическая
471	17371,22	7988,00	1975	4,00	4,00	2,50	12,56	31,40	цилиндрическая
472	17450,06	6578,59	1994	1,40	1,20	1,00	1,54	1,54	чашеобразная
473	17582,42	8458,49	1948	3,00		2,00	7,07	14,13	чашеобразная
474	17578,63	8462,28	1993	0,30		1,00	0,07	0,07	чашеобразная
475	17546,36	8334,06	1992	5,00		2,50	19,63	49,06	воронкообразная
476	17301,85	7897,79	1993	0,50		1,00	0,20	0,20	чашеобразная
477	17731,69	7532,73	1997	3,00		1,00	7,07	7,07	блюдеобразная
478	18457,20	6288,23	1987	3,00		1,00	7,07	7,07	блюдеобразная
479	18608,27	6025,30	2004	1,40	1,20	1,77	1,54	2,72	цилиндрическая
480	18282,00	6221,00	2004	1,00	1,00	0,50	0,79	0,39	цилиндрическая
481	17145,91	5807,39	2003	3,30	3,00	1,00	8,55	8,55	воронкообразная
482	18926,00	5867,20	2004	0,70	0,50	0,50	0,38	0,19	чашеобразная
483	18246,24	4246,04	2004	1,30	1,00	1,50	1,33	1,99	мешкообразная
484	18247,06	4247,50	2004	1,60	1,20	2,60	2,01	5,22	мешкообразная
485	18459,25	6077,71	2004	0,60	0,30	0,60	0,28	0,17	наклонная

Номер провала	Координаты		Дата возникно- вения	Морфометрические параметры, в м					Форма
	Y	X		Длина	Ширина	Глубина	Площадь	Объем	
486	17556,10	6001,18	2005	0,75	0,75	0,60	0,44	0,26	мешкообразная
487	18289,42	5980,47	2005	0,30	0,30	0,50	0,07	0,04	мешкообразная
488	16948,85	8905,38	2005	0,40	0,40	1,50	0,13	0,19	наклонная
489	18481,62	11416,01	2005	1,90	1,40	1,30	2,83	3,68	цилиндрическая
490	18056,66	5145,66	2005	3,00		1,00	7,07	7,07	блюдцеобразная
491	19818,78	6507,04	2005	1,50	0,50	0,70	1,77	1,24	сложная
492	18490,37	6172,39	2005	0,50	0,50	0,70	0,20	0,14	цилиндрическая
493	18524,91	6230,90	2005	0,50	0,50	1,50	0,20	0,29	сложная
494	18633,44	6061,21	2005	1,50	1,50	2,00	1,77	3,53	мешкообразная
495	17594,47	6929,42	2005	1,00	0,50	0,30	0,79	0,24	блюдцеобразная
496	18603,20	6463,80	2005	0,20	0,20	1,50	0,03	0,05	сложная
497	19035,09	6475,65	2006	1,10	1,10	1,00	0,95	0,95	мешкообразная
498	18586,46	5668,50	2006	3,00	3,00	0,20	7,07	1,41	чашеобразная
499	18600,00	5690,06	2006	2,20	1,50	0,80	3,80	3,04	сложная
500	12854,21	9168,06	2006	0,17	0,17	6,00	0,02	0,14	цилиндрическая
501	18735,72	6228,66	2006	1,80	1,00	0,20	2,54	0,51	блюдцеобразная
502	17464,10	6741,07	2006	1,10	1,00	13,00	0,95	12,35	сложная
503	18392,82	6367,86	2006	0,15	0,10	1,00	0,02	0,02	мешкообразная
504	17134,74	7967,30	2006	1,50	1,50	0,30	1,77	0,53	блюдцеобразная
505	17466,81	7416,27	2006	3,00	3,00	0,70	7,07	4,95	блюдцеобразная
506	17430,75	7404,14	2006	2,00	2,00	0,50	3,14	1,57	блюдцеобразная
507	17190,74	7208,40	2006	0,70	0,60	0,50	0,38	0,19	сложная
508	17715,82	6939,29	2006	0,30	0,30	0,50	0,07	0,04	мешкообразная

Каталог карстовых воронок

Номер воронки	Координаты		Морфометрические параметры	
	X	Y	Площадь	Длина
1	5953,41	20244,95	226,23	16,98
2	5960,34	20214,05	137,80	13,25
3	5915,56	20243,43	58,50	8,63
4	3148,83	16018,63	93,57	10,92
5	3221,82	16004,11	69,15	9,39
6	3284,54	16030,12	259,44	18,18
7	3298,74	16061,53	86,71	10,51
8	3301,44	16003,43	271,35	18,59
9	3316,65	16167,24	496,00	25,14
10	3346,72	16198,65	261,64	18,26
11	3103,85	16236,14	278,18	18,82
12	3292,18	16259,98	251,31	17,89
13	3498,32	16288,69	186,35	15,41
14	3314,49	16234,51	173,86	14,88
15	3307,39	16217,29	176,71	15,00
16	3271,16	16238,57	607,95	27,83
17	3228,11	16230,46	24,37	5,57
18	3657,49	16014,18	121,90	12,46
19	3683,17	16021,61	156,29	14,11
20	3639,24	16072,27	219,38	16,72
21	3599,36	16108,07	106,07	11,62
22	3622,34	16094,56	57,35	8,55
23	3648,70	16122,25	304,00	19,68
24	3676,41	16125,63	334,04	20,63
25	3669,65	16173,59	332,66	20,59
26	3570,98	16168,18	114,71	12,09
27	3560,84	16155,35	93,19	10,90
28	3548,00	16200,88	510,34	25,50
29	3525,69	16239,38	243,73	17,62
30	3554,76	16254,92	179,23	15,11
31	3584,49	16242,08	167,71	14,62
32	3661,54	16219,12	316,75	20,09
33	3703,44	16213,71	179,23	15,11
34	3590,58	16271,67	186,38	15,41
35	3643,29	16269,64	129,06	12,82
36	3623,02	16334,49	213,53	16,49
37	3601,39	16346,64	58,77	8,65
38	3552,05	16334,49	415,59	23,01
39	3518,94	16357,45	121,84	12,46
40	3924,61	16708,57	87,77	10,57
41	3870,20	16638,38	135,12	13,12
42	3824,48	16610,69	106,07	11,62
43	3779,53	16539,90	78,13	9,98
44	3835,29	16454,18	170,97	14,76
45	3793,39	16427,16	69,54	9,41
46	3815,69	16387,51	179,19	15,11
47	3815,02	16348,67	112,57	11,98
48	3808,60	16363,53	34,76	6,65

Продолжение прилож. 4

Номер воронки	Координаты		Морфометрические параметры	
	X	Y	Площадь	Длина
49	3771,76	16344,62	103,98	11,51
50	3797,78	16324,36	152,36	13,93
51	3863,00	16344,62	145,17	13,60
52	3749,70	16333,48	41,56	7,28
53	3709,14	16404,06	69,17	9,39
54	3688,12	16382,45	121,84	12,46
55	3669,20	16427,71	43,38	7,43
56	3761,79	16221,48	58,77	8,65
57	3829,72	16163,73	56,28	8,47
58	3790,52	16136,37	60,95	8,81
59	3794,91	16116,58	526,62	25,90
60	3761,12	16133,81	167,72	14,62
61	3756,05	16170,96	20,80	5,15
62	3761,12	16052,21	44,82	7,56
63	3831,31	16243,17	189,91	15,55
64	3871,86	16217,84	112,54	11,97
65	3937,42	16202,30	71,71	9,56
66	3918,83	16261,40	397,10	22,49
67	3830,29	16292,88	116,53	12,18
68	3863,75	16279,37	104,69	11,55
69	3941,13	16310,44	86,40	10,49
70	3894,50	16328,34	20,80	5,15
71	3891,46	16348,95	16,13	4,53
72	3935,73	16379,48	46,60	7,70
73	3949,92	16406,16	392,89	22,37
74	3995,54	16406,16	114,71	12,09
75	3982,02	16408,18	37,99	6,96
76	3238,13	15976,46	680,46	29,44
77	3265,16	15958,56	86,40	10,49
78	3294,22	15971,73	400,21	22,58
79	3308,42	15901,48	112,18	11,95
80	3350,12	15911,61	322,66	20,27
81	3329,50	15874,12	17,58	4,73
82	3510,16	15884,33	21,87	5,28
83	3669,26	15921,48	507,82	25,43
84	3717,58	15952,89	232,90	17,22
85	3696,29	15965,38	123,95	12,57
86	3652,02	15983,96	195,00	15,76
87	3702,04	15983,96	195,31	15,77
88	3778,24	15983,96	151,98	13,91
89	3800,54	15988,35	143,36	13,51
90	3764,72	15937,01	89,60	10,68
91	4324,74	16884,36	334,70	20,65
92	4087,51	16358,66	130,51	12,89
93	4059,53	16461,41	245,65	17,69
94	4286,13	16441,14	241,03	17,52
95	4137,86	16497,34	228,74	17,07
96	4157,45	16509,92	138,22	13,27
97	4015,47	16632,94	89,06	10,65
98	4258,68	16623,85	19,97	5,04

Продолжение прилож. 4

Номер воронки	Координаты		Морфометрические параметры	
	X	Y	Площадь	Длина
99	4029,28	16837,60	228,74	17,07
100	4552,59	16627,49	999,99	35,69
101	8627,38	16422,30	379,95	22,00
102	9100,52	15942,10	184,62	15,34
103	9521,29	15720,67	51,02	8,06
104	9282,55	15203,49	149,09	13,78
105	8639,11	15863,85	999,99	35,69
106	8881,51	15349,19	106,95	11,67
107	8455,87	15058,04	444,93	23,81
108	8414,84	15030,71	303,37	19,66
109	8361,63	15127,24	589,58	27,41
110	8450,53	15193,62	193,82	15,71
111	8548,27	15059,40	344,63	20,95
112	8541,86	15376,94	83,16	10,29
113	8562,38	15356,44	41,86	7,30
114	8652,56	15617,93	134,19	13,07
115	8055,33	15239,74	60,76	8,80
116	8111,31	15981,17	314,25	20,01
117	10563,73	15076,92	125,35	12,64
118	8111,24	14949,09	181,42	15,20
119	8547,93	14111,56	158,12	14,19
120	8438,19	14848,75	176,87	15,01
121	8652,04	14928,79	167,79	14,62
122	8650,68	14955,07	93,54	10,92
123	8588,10	14293,75	80,69	10,14
124	8874,06	14555,62	188,46	15,49
125	9130,28	13737,37	189,16	15,52
126	9100,67	13716,15	181,33	15,20
127	9043,11	13683,20	286,24	19,10
128	9085,58	13656,95	597,96	27,60
129	9169,96	13644,11	134,26	13,08
130	9041,44	13626,24	48,05	7,82
131	9053,17	13594,96	71,54	9,55
132	9130,29	13586,58	36,26	6,80
133	9139,23	13560,11	50,95	8,06
134	9050,94	13552,85	50,94	8,06
135	9048,14	13506,50	71,49	9,54
136	9032,49	13492,53	97,99	11,17
137	9060,43	13445,62	228,38	17,06
138	9002,32	13457,35	427,40	23,33
139	8997,85	13519,90	122,53	12,49
140	9079,99	13460,70	127,41	12,74
141	9205,16	13503,70	49,03	7,90
142	9190,08	13495,33	40,16	7,15
143	9334,41	13450,65	520,01	25,74
144	9015,73	13412,90	51,57	8,11
145	9079,99	13314,60	352,91	21,20
146	9142,02	13348,11	245,05	17,67
147	9050,38	13306,78	110,73	11,88
148	9008,47	13292,26	189,12	15,52

Продолжение прилож. 4

Номер воронки	Координаты		Морфометрические параметры	
	X	Y	Площадь	Длина
149	9201,25	13363,75	31,35	6,32
150	9211,87	13335,27	33,29	6,51
151	9235,90	13343,64	40,18	7,15
152	9233,10	13289,47	143,29	13,51
153	9054,28	13157,11	990,11	35,51
154	9249,31	13213,52	66,59	9,21
155	9235,90	13258,75	19,59	5,00
156	9257,13	13115,00	66,65	9,21
157	9287,31	13100,48	28,43	6,02
158	9202,37	13063,62	177,37	15,03
159	9197,90	13027,88	237,11	17,38
160	9734,90	13318,74	149,96	13,82
161	8830,82	13018,83	24,51	5,59
162	8843,67	13092,55	17,63	4,74
163	8845,34	13083,06	19,61	5,00
164	8893,40	13319,07	213,66	16,50
165	8809,58	13267,13	78,40	9,99
166	8900,67	13187,27	133,29	13,03
167	8871,61	13202,91	160,71	14,31
168	8894,52	13277,74	203,86	16,12
169	8929,16	13344,20	424,37	23,25
170	8996,22	13324,10	88,13	10,60
171	8968,84	13282,77	477,87	24,67
172	8852,05	13443,05	103,88	11,50
173	8856,52	13407,31	200,92	16,00
174	8810,14	13524,03	158,74	14,22
175	8820,76	13488,29	197,88	15,88
176	8917,43	13509,51	339,09	20,78
177	8948,17	13492,20	49,00	7,90
178	8955,43	13475,45	83,29	10,30
179	8982,25	13493,88	197,88	15,88
180	8906,81	13398,37	220,50	16,76
181	8887,25	13430,77	97,97	11,17
182	8909,61	13476,00	40,18	7,15
183	8845,90	13572,73	71,57	9,55
184	8974,98	13623,56	847,42	32,86
185	8722,97	13506,83	39,21	7,07
186	8890,61	13716,37	63,69	9,01
187	8966,05	13724,75	177,34	15,03
188	8974,43	13957,53	533,97	26,08
189	8675,58	13709,00	24,51	5,59
190	8517,99	13512,86	216,63	16,61
191	8368,84	13490,30	440,95	23,70
192	8027,75	13433,89	40,18	7,15
193	6253,84	20117,36	213,21	16,48
194	6275,50	20045,57	908,78	34,02
195	6234,44	20023,92	230,72	17,14
196	6192,74	20019,07	250,62	17,87
197	7354,92	20168,65	672,08	29,26
198	7399,83	20189,17	999,99	35,69

Продолжение прилож. 4

Номер воронки	Координаты		Морфометрические параметры	
	X	Y	Площадь	Длина
199	7417,16	20228,93	264,97	18,37
200	7405,61	20266,77	405,85	22,74
201	7435,77	20266,77	129,21	12,83
202	7471,70	20292,42	652,56	28,83
203	7433,20	20249,45	106,00	11,62
204	7386,00	19289,23	142,34	13,47
205	7415,25	19347,23	21,48	5,23
206	7885,87	19091,69	263,11	18,31
207	7911,02	19098,13	182,54	15,25
208	7940,27	19106,31	104,17	11,52
209	7978,29	19058,37	999,99	35,69
210	8842,81	12968,85	73,22	9,66
211	8848,10	12992,22	50,44	8,02
212	8871,86	12948,87	325,94	20,38
213	8913,35	12973,75	365,23	21,57
214	8847,72	12904,01	75,91	9,83
215	8766,40	12314,36	439,85	23,67
216	8783,37	12349,87	216,51	16,61
217	8797,10	12499,75	168,40	14,65
218	8826,33	12006,00	440,34	23,68
219	9033,52	12910,46	208,35	16,29
220	9309,78	12941,57	798,11	31,89
221	9357,02	10213,26	92,70	10,87
222	9287,49	10195,02	432,60	23,48
223	9476,09	10259,60	48,53	7,86
224	9765,83	10262,35	48,54	7,86
225	9046,36	20033,38	38,10	6,97
226	9007,61	20142,88	64,68	9,08
227	9364,77	20239,67	248,65	17,80
228	9567,58	20034,72	156,66	14,13
229	9326,01	20023,24	183,13	15,27
230	9750,15	19744,65	492,32	25,04
231	9690,35	19797,73	316,91	20,09
232	9976,13	19564,56	153,69	13,99
233	9916,80	19488,06	175,27	14,94
234	9932,11	19424,65	578,12	27,14
235	9951,24	19375,40	237,34	17,39
236	9904,36	19394,04	202,64	16,07
237	9875,65	19397,87	430,44	23,42
238	9887,13	19432,78	87,68	10,57
239	9789,53	19401,70	46,72	7,71
240	9801,49	19400,26	38,08	6,96
241	9909,14	19349,57	500,77	25,26
242	9708,86	19373,00	61,08	8,82
243	9708,39	19405,04	103,48	11,48
244	9766,76	19451,90	109,94	11,83
245	9680,16	19449,99	290,35	19,23
246	9584,95	19401,70	38,08	6,96
247	9661,50	19374,92	35,93	6,77
248	9671,55	19393,57	35,93	6,77

Продолжение прилож. 4

Номер воронки	Координаты		Морфометрические параметры	
	X	Y	Площадь	Длина
249	9519,78	19445,69	114,95	12,10
250	9461,75	19433,73	97,73	11,16
251	9422,99	19396,91	161,67	14,35
252	9408,16	19389,74	64,67	9,08
253	9431,60	19382,09	58,93	8,66
254	9434,95	19355,31	74,73	9,76
255	9478,01	19408,87	175,31	14,94
256	9537,34	19416,04	64,60	9,07
257	9098,90	19538,65	242,13	17,56
258	9121,38	19542,95	268,02	18,48
259	9171,62	19582,16	345,51	20,98
260	9185,01	19520,95	897,80	33,82
261	9158,22	19496,09	130,04	12,87
262	9231,91	19487,96	138,65	13,29
263	9239,08	19512,35	175,31	14,94
264	9241,00	19528,61	61,05	8,82
265	9215,16	19608,46	999,99	35,69
266	9082,63	19467,88	270,85	18,58
267	9300,75	19607,70	999,99	35,69
268	9346,20	19623,00	83,34	10,30
269	9300,75	19547,92	37,37	6,90
270	9268,22	19544,58	63,95	9,03
271	9408,88	19554,62	41,64	7,28
272	9401,23	19642,60	26,60	5,82
273	9437,11	19482,41	74,72	9,76
274	9560,73	19514,93	999,99	35,69
275	9572,70	19544,58	61,05	8,82
276	8874,96	19458,61	773,04	31,38
277	8935,25	19409,83	635,20	28,45
278	9007,97	19487,30	999,99	35,69
279	8785,01	19385,92	206,85	16,23
280	8754,39	19388,79	324,66	20,34
281	8617,56	19396,44	22,99	5,41
282	8621,38	19377,32	195,46	15,78
283	8652,00	19412,70	22,98	5,41
284	8666,36	19304,63	634,93	28,44
285	8520,91	19310,37	419,65	23,12
286	8495,07	19320,89	106,35	11,64
287	8481,29	19429,92	531,79	26,03
288	8472,68	19253,95	977,04	35,28
289	8528,18	19250,12	212,69	16,46
290	8689,90	19198,48	390,85	22,31
291	8620,04	19212,82	287,25	19,13
292	8592,29	19229,08	71,85	9,57
293	8575,07	19214,73	71,82	9,57
294	8536,79	19218,56	83,34	10,30
295	8507,13	19202,30	393,72	22,40
296	8430,58	19224,30	373,58	21,82
297	8399,95	19198,48	258,69	18,15
298	8403,78	19171,70	114,97	12,10

Продолжение прилож. 4

Номер воронки	Координаты		Морфометрические параметры	
	X	Y	Площадь	Длина
299	8472,68	19136,31	71,85	9,57
300	8304,27	19191,78	129,32	12,84
301	8263,17	19114,32	494,94	25,11
302	8283,74	19108,58	116,37	12,18
303	8344,03	19160,22	43,82	7,47
304	8356,47	19176,48	58,93	8,66
305	8027,05	19075,58	129,37	12,84
306	8774,54	19653,52	139,41	13,33
307	8645,36	19594,70	121,43	12,44
308	8523,55	19605,70	46,69	7,71
309	8558,00	19584,18	29,45	6,13
310	8566,61	19570,31	24,43	5,58
311	8590,53	19588,01	41,68	7,29
312	8515,41	19632,00	57,50	8,56
313	8475,22	19566,96	18,68	4,88
314	8469,48	19582,75	12,21	3,94
315	8444,12	19587,53	26,60	5,82
316	8483,36	19541,62	20,84	5,15
317	8468,05	19559,31	24,43	5,58
318	8452,26	19554,05	11,50	3,83
319	8441,73	19535,40	12,22	3,95
320	8476,66	19522,97	43,83	7,47
321	8240,73	19389,65	76,19	9,85
322	8126,86	19323,86	61,08	8,82
323	8842,14	19743,89	138,68	13,29
324	8446,26	19974,66	976,80	35,28
325	8396,03	19989,49	179,60	15,13
326	8399,38	19950,76	132,90	13,01
327	10317,38	8063,60	830,08	32,52
328	10297,98	8044,22	19,42	4,97
329	10235,57	8375,38	999,99	35,69
330	10187,40	20351,31	316,16	20,07
331	10163,04	20481,68	126,49	12,69
332	10143,73	20453,52	68,36	9,33
333	10088,42	20380,10	44,41	7,52
334	10455,69	19218,06	660,43	29,01
335	10472,39	19234,74	138,38	13,28
336	10402,99	19226,40	431,43	23,44
337	10389,95	19250,91	346,09	21,00
338	10395,69	19170,08	45,25	7,59
339	10430,96	19309,73	732,46	30,55
340	10426,78	19342,58	536,65	26,15
341	10490,44	19361,88	523,60	25,83
342	10435,66	19236,21	24,79	5,62
343	10367,30	19335,80	290,38	19,23
344	10306,26	19305,56	537,60	26,17
345	10273,91	19321,73	999,99	35,69
346	10286,43	19270,10	290,44	19,24
347	10252,52	19227,34	62,39	8,92
348	10199,93	19234,22	99,11	11,24

Продолжение прилож. 4

Номер воронки	Координаты		Морфометрические параметры	
	X	Y	Площадь	Длина
349	10113,31	19329,76	145,19	13,60
350	10157,66	19383,99	431,57	23,45
351	10126,88	19375,64	62,38	8,91
352	10298,01	19418,40	999,99	35,69
353	10345,49	19413,71	999,99	35,69
354	10436,80	19407,45	650,01	28,78
355	10295,41	19460,75	153,67	13,99
356	10277,14	19535,32	999,24	35,68
357	10340,28	19535,84	574,72	27,06
358	10072,88	19422,68	206,70	16,23
359	10040,01	19372,62	96,52	11,09
360	10000,35	19400,26	626,53	28,25
361	9999,83	19361,15	888,94	33,65
362	10232,54	19331,63	72,58	9,62
363	10158,45	19620,42	393,87	22,40
364	10076,53	19680,91	527,00	25,91
365	10417,03	19915,16	106,82	11,67
366	10418,44	19704,07	464,78	24,33
367	10369,91	19704,59	72,63	9,62
368	10379,83	19571,93	246,93	17,74
369	10506,09	19528,12	99,97	11,28
370	10526,96	19514,04	63,20	8,97
371	10496,18	19459,91	999,99	35,69
372	10494,61	19421,85	999,99	35,69
373	10523,31	19478,17	63,20	8,97
374	10474,79	19397,03	42,71	7,38
375	10472,02	19258,84	103,30	11,47
376	3836,47	18065,55	45,77	7,64
377	3901,18	18150,87	126,22	12,68
378	3558,64	17218,99	167,32	14,60
379	3546,61	17164,35	107,34	11,69
380	4521,05	18349,76	720,91	30,30
381	4537,10	18316,17	179,54	15,12
382	5087,78	17767,02	404,70	22,71
383	5529,43	17753,13	123,92	12,56
384	8336,47	18989,42	294,55	19,37
385	8331,45	18954,83	205,29	16,17
386	8269,21	21371,80	457,49	24,14
387	8249,57	21307,22	506,76	25,41
388	7784,35	20808,30	451,12	23,97
389	7722,63	20081,68	123,60	12,55
390	7815,22	20102,74	228,61	17,07
391	7872,74	20063,43	179,25	15,11
392	9880,62	20143,45	377,24	21,92
393	9848,36	20125,20	197,86	15,88
394	9392,40	19956,74	123,62	12,55
395	4010,18	18993,71	599,56	27,64
396	4150,47	18964,23	179,25	15,11
397	3778,41	18088,52	302,82	19,64
398	4397,38	16475,79	999,99	35,69

Окончание прилож. 4

Номер воронки	Координаты		Морфометрические параметры	
	X	Y	Площадь	Длина
399	3402,43	15858,95	420,25	23,14
400	4793,70	19537,77	148,66	13,76
401	4760,68	19083,06	41,22	7,25
402	4673,75	19122,38	48,69	7,88
403	4705,68	19159,77	242,31	17,57
404	4704,44	19179,53	110,01	11,84
405	4665,92	19180,15	54,02	8,30
406	4717,01	19264,10	26,13	5,77
407	4707,53	19347,89	21,38	5,22
408	8860,14	12133,15	999,99	35,69

**Физико-механические свойства перекрывающих отложений
для определения расчетного диаметра карстового провала**

Литологический слой, возраст	Физико-механические характеристики		
	ρ , г/см ³	φ , °	c, кПа
Насыпной грунт tQ	2,02	15	21
Супесь аQ	1,90	22	16
Песок аQ	1,93	28	2
Суглинок аQ	1,98	17	32
Глина аQ	1,89	25	47
Гравийно-галечниковый грунт аQ	2,03	24	18
Щебенистый (дресвяный, глыбовый) грунт N-Q	2,07	26	23

Учебное издание

Катаев Валерий Николаевич
Ковалёва Татьяна Геннадьевна

КАРСТОВЕДЕНИЕ

Теоретические основы и практические приложения

Учебное пособие

Редактор Н. И. Стрекаловская
Корректор А. В. Цветкова
Компьютерная верстка: Т. Г. Ковалёва

Объем данных 3,12 Мб
Подписано к использованию 28.07.2023

Размещено в открытом доступе
на сайте www.psu.ru
в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Управление издательской деятельности
Пермского государственного
национального исследовательского университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15