

УДК 551.44

**Ю.А. Килин, И.И. Минькевич, И.Н. Шардаков, П.В. Шутов**

Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, г. Пермь,

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗВИТИЯ КАРСТА ЧУСОВСКОГО МЫСА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА

Территория Чусовского мыса относится к району преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста. На гидродинамическую и гидрохимическую обстановку большое влияние оказывает Камское водохранилище. Происходит активизация карстовых процессов. Увеличивается мощность переходной гидродинамической зоны, что проявляется в возрастании частоты карстовых провалов. Высокая растворяющая способность поверхностных вод и подземных вод соликамского и иренского водоносных горизонтов кунгурского яруса нижней перми способствовали развитию карстового провала в д. Городище (1991г). Периодические наблюдения за химическим составом подземных и поверхностных вод показали, что химический состав подвержен колебаниям, количество сульфатов возрастает с 1163мг/дм<sup>3</sup> (2018г) до 1403мг/дм<sup>3</sup> (2021г).

*Ключевые слова:* карстовый провал, Чусовской мыс, гидродинамические зоны карста, гидрогеохимия сульфатно-карбонатных водоносных горизонтов.

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2022.116**

Территория Чусовского мыса относится к Полазнинскому району преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста [1]. После строительства плотины в районе существенно изменились гидродинамические и гидрохимические условия т.к. данная территория оказалась в зоне влияния сливной призмы Камского водохранилища (рис.1). По данным гидрологического поста в г. Добрянка абсолютные отметки уреза воды по Камскому водохранилищу составляют: в половодье при 1% обеспеченности – 109,1 м; при нормальном подпорном уровне – 108,5 м; при предельной зимней сработке – 100,0 м. В первые годы после создания водохранилища подпор подземных вод распространился в зону водораздела на расстояние 2-3 км. В настоящее время зона влияния уменьшилась примерно до 500 м (по данным ВерхнекамТИСИЗа).

Зона активного водообмена сложена четвертичными аллювиальными отложениями, обвальными карстовыми неоген-четвертичными образованиями, терригенно-карбонатными породами соликамского



Рис.1. Чусовской мыс

горизонта и сульфатными породами иренского горизонта нижней перми, мощность отложений 100-120м [4]. Соликамский горизонт представлен известняками, мергелями, песчаниками. Мергели светло-серого, коричневого цвета тонкослоистые; известняки светло-серые, светло-коричневые, сильно трещиноватые и кавернозные, иногда заполненные кальцитом; песчаники серые, мелкозернистые на глинисто-карбонатном цементе. Мощность соликамских отложений на участке исследования составляет 35-40м. Под соликамским горизонтом залегает иренский горизонт, представленный карбонатно-сульфатными отложениями мощностью 115-120м.

На участке исследований соликамский горизонт обнажается в виде берегового откоса крутизной 50-70 град. высотой 40-50м, который подвержен процессом физического выветривания, а на урезе воды - абразионным. В подошве склона из обломков коренных пород формируется толща коллювиальных отложений, которые перерабатываются за счет волновой деятельности. Скорость переработки береговых откосов составляет от 0,5 до 1,0м. Уступы Чусовского мыса сформированные после образования водохранилища (1954 г.) имеют трещины бортового отпора, которые ускоряют развитие карста и способствуют разрушению склонов.

Карстующиеся породы исследованного района характеризуются интенсивной трещиноватостью. Преобладающее направление тектонических трещин в обнажениях пород – СВ 50° и СЗ 320°. Эта

генетическая группа трещин играет основную роль в карстообразовании, что подтверждается развитием поверхностных карстовых форм (овраги, цепи воронок, озера).

На участке исследований в д. Городище имеется карстовый провал, образовавшийся в 1991 г. в мергелях соликамского и сульфатных породах иренского горизонтов. Он находится между карстовыми озерами, расположенными по линии СВ 50°. Направление развития подземной части провала - СЗ 325° [5]. Эволюция карстового провала приведена в табл.1. В настоящее время провал засыпан бытовым мусором (Рис.2). Первоначальные размеры карстового провала: длина входного отверстия 2,8м, ширина 1,7м, глубина 27 м. Карстовый провал такой глубины относится по классификации Г.А.Максимовича к карстовой шахте. Заканчивался округлым гротом диаметром 13м и высотой 8м. Стенки провала сложены терригенно-карбонатными породами соликамского горизонта, на дне провала – осыпь, представленная обломками коренных пород.

Таблица 1

*Эволюция Городищенского провала (1991 – 2021 гг.)*

Дата обследования	Длина, м	Ширина, м	Глубина, м	Скорость отступления стенок, м/год
20.06.1991	2,8	1,7	27	
22.05.1994	3,2	2,5	27	0,2
21.06.2001	11,0	7,0	20	0,9
23.05.2006	16,2	11,6	7	1,0
25.09.2018	16,7	15,2	3*	0,3
08.05.2019	16,7	15,5	3*	0,3
24.05.2021	26,8	20,2	3*	

**Примечание:** \* карстовый провал засыпан бытовым мусором

Предполагаемый первоначальный объем полости, возникшей в сульфатных породах иренского горизонта, составлял 1200 м<sup>3</sup>. Формирование полости обусловлено высокой растворимостью сульфатных и карбонатных пород иренского горизонта залегающих на глубинах 45-50м [5,6].

Высокая растворяющая способность подземных вод иренского водоносного горизонта и дефицит сульфатонасыщения способствовали развитию карстового провала. Ежегодно в весенний период идет пополнение водохранилища водой до отметок НПУ-108,2м, в зимний период до апреля наоборот идет его сработка до отметок 100,0м. Колебания



Рис. 2. Карстовый провал в 2021 г

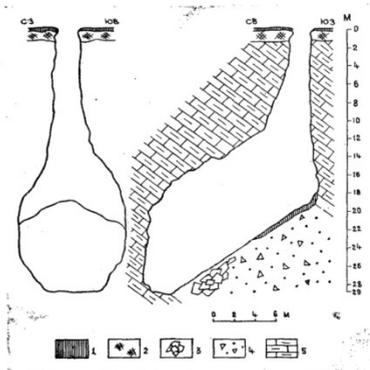


Рис.3. Схематический разрез провала в д. Городище в 1991 г

воды в 8,0м создают условия для интенсивного водообмена. В весенний период происходит внедрение камских вод в береговые отложения, что приводит к растворению карстующихся пород, насыщению их сульфатом кальция за счет длительного стояния камской воды в береговых отложениях, а в зимний период при понижении уровня воды в водохранилище идет обратный поток, происходит разгрузка предельно насыщенных вод. Такая гидродинамическая система создает условия для интенсивного развития карста. Кроме этого уровни воды в летний период также подвержены значительным колебаниям, это связано со сбросами воды для выработки электроэнергии и при интенсивных ливневых дождях, колебание может составлять 4-5м. Участок исследований является уникальным объектом, ширина Чусовского мыса по линии описанного карстового повала от р. Камы до р. Чусовой составляет 600м, т.е. воды водохранилища интенсивно выщелачивают залегающие в основании гипсы под всей рассматриваемой территорией. Описанный карстовый провал является предвестником катастрофических провалов на данном участке.

Сотрудниками кафедры динамической геологии и гидрогеологии ПГНИУ проведен отбор подземных и поверхностных вод в районе провала. Отобраны пробы из родников в д. Городище и пос. Пальники, карстового озера-болота, эксплуатационной гидрогеологической скважины (табл. 2).

На участке исследований соликамский водоносный горизонт маломощный до 2-3м залегает спорадически на водоупорных аргиллитах и глубинах 10-15м; по отношению к иренскому водоносному горизонту он является подвешенным. Иренский горизонт залегает на глубинах

45-50м. Между подошвой соликамского слабоводоносного горизонта и иренского горизонта 35м. Воды родников приуроченных к соликамскому горизонту  $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Ca}$  с минерализацией от 0,505 до 0,582 г/дм<sup>3</sup>. Дебит родника в д.Городище составляет 0,02л/сек, дебит родника в д.Пальники - 1,5 л/сек.

Иренский водоносный горизонт приурочен к закарстованным гипсоангидритам верхней лунежской пачки; вода из эксплуатационной скважины в д.Городище с глубины 50,0м имеет  $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Ca}$  состав и минерализацию до 2,369 г/дм<sup>3</sup>. По химическим анализам 2018 и 2021гг. состав ее стабилен по сульфатам (1389 – 1403 мг/дм<sup>3</sup>), нестабилен по магнию (2,79-37,1 мг/дм<sup>3</sup>), отмечено повышенное содержание  $\text{NO}_3$ , до 20,2 мг/дм<sup>3</sup>(табл.2).

Таблица 2

*Химический состав поверхностных и подземных вод*

Показатели/ номера проб	Родник у церкви			Озеро-болото д.Городище			Скважина д.Городище			Родник д.Пальники		
	2018г		2021г	2018г		2021г	2018г		2021г	2018г		2021г
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\text{HCO}_3^-$ , мг/ дм <sup>3</sup>	286	203	254	265	64	135	275	266	257	337	291	296
$\text{SO}_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	27	23,7	24,2	1163	47,4	30,2	1389	1392	1403	43,2	39,4	44,7
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	12,8	10,9	9,48	16,9	4,1	8,15	15,6	10,8	19,4	4,3	3,27	4,5
$\text{NO}_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	15,5	19,7	12,5	0,2	0,2	0,52	20,2	18,3	20,4	7,71	6,05	8,45
Ca <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	97,6	76,9	92,1	451	32	43,9	545	579	558	105,3	91,5	99,7
Mg <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	5,6	3,83	5,51	36,7	2,79	5,71	37,1	2,79	36,1	10,6	8,7	10,1
Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	4,4	2,98	3,79	9,5	1,29	3,74	8,8	1,29	6,47	4,4	3,82	4,17
K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,5	<0,5	8,5	10,4	13,6	1,2	10,4	<0,5	0,6	0,5	0,65
$\text{NH}_4^+$ , мг/ дм <sup>3</sup>	0,5	0,5	<0,5	0,5	0,5	<0,5	0,5	0,5	<0,5	0,5	0,5	<0,5
Минера- лизация мг/дм <sup>3</sup>	505	349	401	2049	167	240	2360	2287	2300	582	451	468

**Примечание:** Пробы № 1,4,7,10 отобраны осенью: пробы № 2,3,5,6,8,9,11,12 отобраны весной.

Образование озера-болота в д.Гродище также связано с карстом, оно образовалось на дне карстовой депрессии субширотного простирания длиной 145 м шириной 40 м. Открытое зеркало воды имеет размер 25х10м; депрессия заросла болотной растительностью; озеро на 40% покрыто сплавиной. Питание озера происходит за счет атмосферных осадков. Вода озера-болота по химическому составу на осень 2018г имеет  $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Ca}$  состав с минерализацией 2,049 г/дм<sup>3</sup>, на весну 2018г и весну 2021г –  $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Ca}$  с минерализацией до 167 мг/дм<sup>3</sup>. Существенная разница в гидрохимии воды весенних и осенних анализов объясняется большим количеством пресной воды весной и недостатком ее осенью, вода из озера в течении лета испаряется, кроме этого она загрязняется бытовым стоками расположенных рядом домовладений. По химическому составу все пробы воды, даже с высокой степенью минерализации агрессивны к гипсам и ангидритам, дефицит насыщения сульфатом кальция в среднем составляет 1,71г/дм<sup>3</sup>.

**Выводы.** Развитие карста наиболее активно происходит на контактах пород различного литологического состава, в данном случае песчано-мергелистой и гипсоангидритовой толщ. При этом гидрокарбонатные воды сменяются сульфатными.

Вследствие влияния агрессивных пресных вод Камского водохранилища, карстовый процесс активизируется, что снижает степень устойчивости закарстованной территории. Плотность карстовых воронок на водоразделах в районе Чусовского мыса составляет 10-20 шт.км<sup>2</sup>.

Химический состав подземных вод иренского горизонта в гипсоангидритовых массивах довольно резко изменяется как во времени, так и в пространстве, но в зоне постоянного водонасыщения он остается практически стабильным. Изменяется иногда только минерализация. Изучение изменения минерализации, химического состава трещинно-карстовых вод, их агрессивности по отношению к растворимой горной породе позволит прогнозировать развитие, как поверхностных, так и подземных полостей.

Особенно интенсивно процесс растворения происходит в условиях переменного подпора вод водохранилища (сливная призма) и идет насыщение массива пресными поверхностными агрессивными водами.

Наряду с интенсивным развитием карста происходит метаморфизация подземных вод (увеличивается их минерализация, жёсткость, наблюдается повышенное содержание нитратов).

В карстовой котловине Чусовского мыса образовалось озеро-болото с водой повышенной минерализации и высоким содержанием сульфатов, что указывает на техногенное загрязнение вод озера.

### *Библиографический список*

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, 1992. - 200 с.
2. Килин Ю.А., Минькевич И.И. Карст Чусовского мыса Камского водохранилища. Пермь, 2006. С. 91-94.
3. Минькевич И.И., Килин Ю.А., Кашеварова А.А., Ждакаев В.И. Эколого-гидрогеологическая характеристика Чусовского мыса Камского водохранилища // Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах. Перм. гос. нац. исслед. ун-т- Пермь, 2019.-Вып.21. С.454-459.
4. Печеркин И.А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ. Часть II. Геологические процессы. Пермь, 1969. - 308 с.
5. Тюрина И.М., Минькевич И.И., Пономарев А.Б. Условия развития карстового провала на Чусовской стрелке Камского водохранилища//Карстовые провалы: Тез. докл. юбил. конф. посвящ. 80-летию В.С. Лукина. Екатеринбург, 1994. С. 86-87
6. Тюрина И.М., Минькевич И.И., Килин Ю.А., Баталов А.С. Условия развития карста Чусовского мыса Камского водохранилища//Гидрогеология и карстование: Межвуз. сб.науч.тр./Пермь, ун-т. –Пермь, 2006.-Вып.16. С.253-258.

## HYDROCHEMICAL RESEARCH OF THE DEVELOPMENT OF KARST IN THE CHUSOVSKY CAPE IN THE AREA OF INFLUENCE OF THE RESERVOIR

**Y.A. Kilin, I.I. Minkevich, I.N. Shardakov, P.V. Shutov**

*iks-org@mail.ru*

The territory of the Chusovsky Cape belongs to the area of mainly gypsum and carbonate-gypsum karst. The Kama reservoir has a great influence on the hydrodynamic and hydrochemical situation. Karst processes are becoming more active. The thickness of the transitional hydrodynamic zone increases, which is manifested in an increase in the frequency of karst sinkholes. The high dissolving capacity of surface waters and groundwaters of the solikamsk and iren aquifers of the kungurian stage of the lower permian contributed to the development of a karst sinkhole in the village of Gorodishche (1991). Periodic observations of the chemical composition of groundwater and surface waters showed that the chemical composition is subject to fluctuations, the amount of sulfates increases from 1163mg / dm<sup>3</sup> (2018) to 1403mg / dm<sup>3</sup> (2021).

*Keywords: karst depression, Chusovskay cape, hydrodynamic karst zones, hydrogeochemistry of sulfate-carbonate aquifers.*