



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Выпуск 25

Региональная инженерная геология
и геоэкология

Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(28-29 марта 2024 г.)

Москва
Издательство «Геоинфо»
2024

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной
геологии и гидрогеологии

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН
Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН
Российская национальная группа МАИГ

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Региональная инженерная геология и геоэкология

Выпуск 25

Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(28-29 марта 2024 г.)



Москва
Издательство «Геоинфо»
2024

ББК 26.3
С 32
УДК 624.131.: 551.3.

Сергеевские чтения. Региональная инженерная геология и геоэкология. Выпуск 25. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (28-29 марта 2024 г.). Москва: Издательство «Геоинфо», 2024. - 495 стр.

ISBN 978-5-6051759-0-2

В сборнике опубликованы доклады, представленные на двадцать пятую ежегодную юбилейную конференцию «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М. Сергеева – выездную сессию Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, организованную в г. Дербенте при участии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН 28-29 марта 2024 г. Чтения были посвящены обсуждению вопросов региональной геологии и геоэкологии. Юбилейная конференция посвящена 110-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева. Научная программа чтений включала обсуждение следующих тем: Особенности инженерно-геологических условия различных регионов; Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы урбанизированных и техногенно нагруженных территорий; Инженерная геодинамика горноскладчатых и платформенных областей: геологические процессы и их парагенезис; Инженерно-геологическое и геоэкологическое районирование как инструмент региональных исследований; Моделирование и искусственный интеллект при исследованиях инженерно-геологических структур; Дистанционное зондирование земли в региональных инженерно-геологических и геоэкологических исследованиях.

Для специалистов, студентов и аспирантов в области инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии.

Включенные в сборник статьи опубликованы в авторской редакции.

Редакционная коллегия:

В.И. Осипов (главный редактор), Е.А. Вознесенский (зам. главного редактора), Е.В. Булдакова (отв. секретарь), О.Н. Еремина, А.С. Викторов, В.Г. Заиканов, И.В. Козлякова, И.А. Костикова, В.М. Макеев, А.Л. Стром, Г.П. Постоев.

© Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, 2023

© Изд-во «ГеоИнфо», 2024

СУЛЬФАТНЫЙ КАРСТ

Н.Г. Максимович¹, О.И. Кадебская², О.Ю. Мещерякова¹, О.А. Березина¹

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, ул. Букирева, 15,
E-mail: nmax@psu.ru, E-mail: olgam.psu@gmail.com, E-mail: berezina.olga16@gmail.com

²Горный институт УрО РАН, г.Пермь, Сибирская, 78а, icecave@bk.ru

Вопросами районирования сульфатного карста Пермского края занимались К.Г. Бутырина, К.А. Горбунова, Г.А. Максимович и др. В 1992 году районирование территории было пересмотрено К.А. Горбуновой и на территории Пермского края выделено 16 карстовых районов, из которых 10, где карст связан с сульфатными породами. Авторы данной статьи сочли возможным выделить еще один – Лысьвенский – район локального распространения сульфатного карста, объединив территории, ранее описанные К.А. Горбуновой, как участки карстопроявлений, за счет чего увеличилась общая площадь районов сульфатного карста Пермского края до 23 301 км² [6]. В статье приведено описание гидрогеологических особенностей этих районов (рисунок). **Ксенофонтовский район преимущественно сульфатного и карбонатного карста (Кс)** относится к Ксенофонтово-Колвинской гидрогеологической области. Развитие карста связано с кунгурским карбонатно-сульфатным водоносным комплексом иренского горизонта. Карбонатно-сульфатные породы водоносны только в верхней части разреза в местах выхода их на поверхность и частично в условиях залегания под маломощными соликамскими породами. Наряду с сильно закарстованными обводненными встречаются и монолитные водоупорные блоки пород. Подземные воды движутся по сети разобщенных карстовых полостей, каналов и трещин. Здесь распространены грунтовые и трещинно-жильные безнапорные и напорные воды [1]. Воды пресные гидрокарбонатно-кальциево-сульфатные с минерализацией 240–430 мг/дм³.

В отложениях филипповского горизонта наблюдаются выходы сероводородных вод сульфатно-кальциевого состава на территории Предтиманского прогиба в долинах рек Пыдол и Пильвы. В этих отложениях вскрывались сероводородные воды хлоридно-натриевого состава – Пыдольский, Ужгинский и Пильвенский источники. Вода Пыдольского источника относится к группе слабоминерализованных вод сульфатно-кальциево-гидрокарбонатной гидрохимической фации. Содержание сероводорода более 100 мг/дм³. Ужгинский источник (оз. Кочь) с содержанием сероводорода 36–42 мг/дм³ и карбонатной углекислоты 690–725,8 мг/дм³.

Вишеркский район соляного и сульфатного карста (Вш) относится к Печоро-Предуральскому бассейну пластовых и блоково-пластовых напорных вод Верхнепечорской гидрогеологической области. Здесь распространены грунтовые воды аллювиальных и флювиогляциальных отложений, соликамский и кунгурский терригенные водоносные комплексы, трещинно-карстовые воды галогенных пород кунгурского яруса. Засоленность и загипсованность кунгурских и, в меньшей степени, соликамских отложений определяют неглубокое залегание соленых вод. Водоносный кунгурский сульфатно-терригенный комплекс представлен терригенными отложениями кунгурского яруса. Фильтрационные свойства комплекса зависят от литологии водовмещающих пород и степени их трещиноватости и составляют 0,001–14,7 м/сут. В верхней части разреза развиты трещинно-грунтовые воды, глубина залегания уровня изменяется от 12 до 52 м. Выше эрозионного вреза преобладают гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные воды с минерализацией 0,1–0,5 г/дм³. На участках выщелачивания гипсов и ангидритов преобладают ионы сульфата. Минерализация этих вод составляет 0,3–3,0 г/дм³ [1].

Соликамский район преимущественно соляного и сульфатного карста (Сл). Соляная залежь играет роль водоупора, разделяющего надсолевые и подсолевые воды. Воды подсолевого комплекса представляют собой высокоминерализованные рассолы. Надсолевые воды относятся как к пресным, так и к минерализованным. Надсолевая толща содержит несколько водоносных комплексов. Четвертичный водоносный комплекс приурочен к аллювиальным, озерным, флювиогляциальным, элювиально-делювиальным отложениям. Это ненапорные грунтовые воды. В отложениях ТКТ сосредоточены основные запасы пресных подземных вод региона. Водовмещающими породами являются известняки, мергели, песчаники. Водоупорами – глины и глинистые алевролиты. В комплексе различают два типа подземных вод: трещинно-грунтовые, обычно безнапорные, которые движутся от

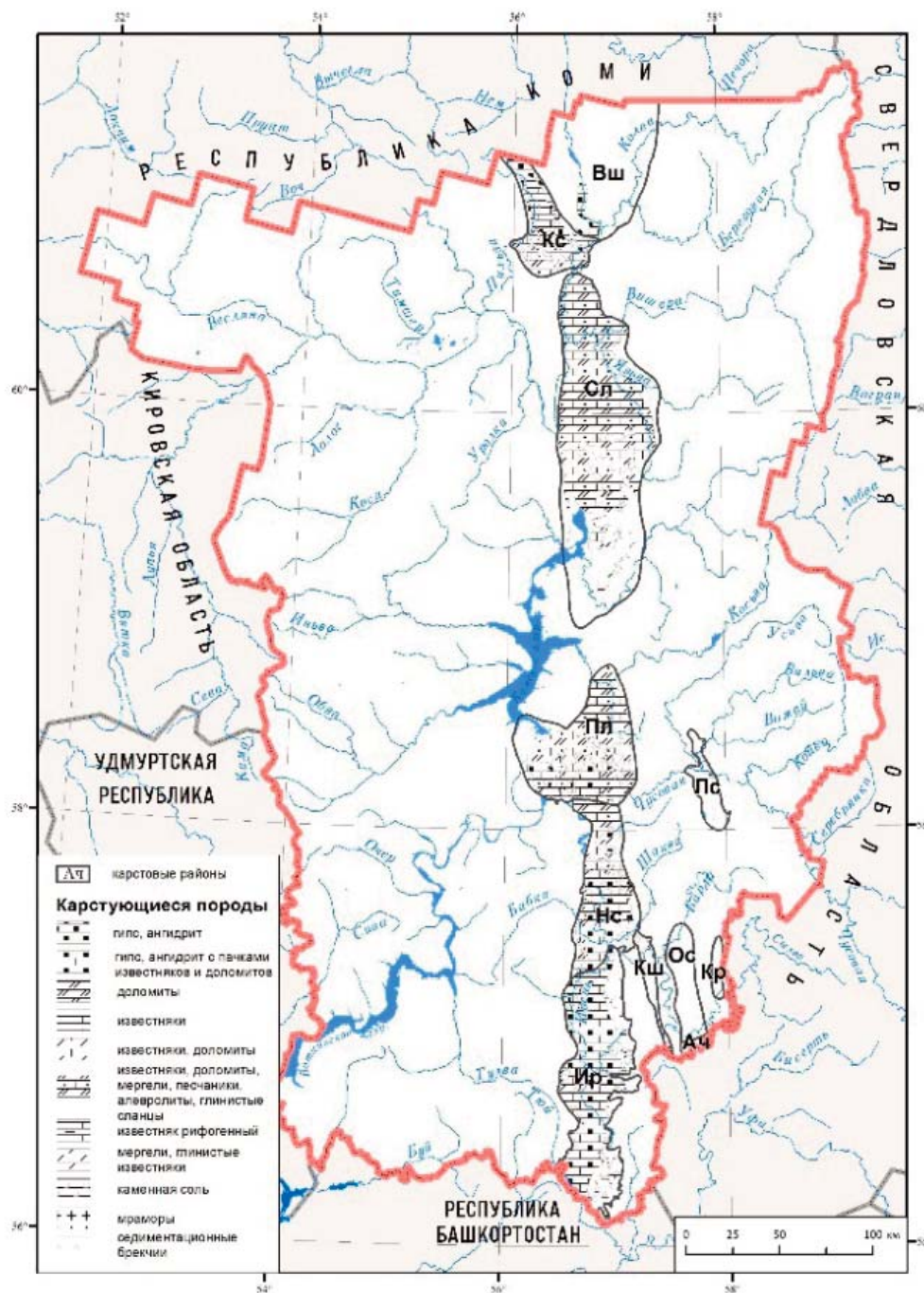


Рисунок. Карта сульфатного карста Пермского края [1; с дополнениями авторов]

водоразделов к долинам-дренам и находятся выше местного базиса дренирования; трещинно-пластовые, движение которых от области питания подчинено общему направлению падения слоев на запад к оси Камского прогиба. Трещинно-пластовые воды района являются напорными, о чем свидетельствует наличие восходящих родников, самоизливы из скважин. Подземные воды ТКТ в естественных условиях имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав и общую минерализацию от 0,2 до 0,5 г/дм³. Дебиты родников достигают 20 л/с. Водоносный комплекс СМТ (верхнесоликамский и нижнесоликамский водоносные горизонты) расположен в трещиноватых мергелях, где водоупорами являются глинистые прослои. Естественный химический состав и минерализация вод комплекса очень разнообразны [7].

Полазненский район преимущественно сульфатного и карбонатно-сульфатного карста (Пл). К зоне активного водообмена, в пределах которой проявляется карст, приурочены четвертичный, шешминский, соликамский и иренский водоносные горизонты и комплексы. Водоносными являются трещиноватые известняки, песчаники, мергели, залегающие на незакарстованных гипсах

и ангидритах иренского горизонта. Там, где соликамские отложения залегают выше эрозионных врезов, а нижележащие гипсы и ангидриты сильно закарстованы, отмечаются безводные участки. Сплошная обводненность отмечается в зоне подпора Камского водохранилища и долинах рек.

Создание Камского водохранилища в 1954 г. активизировало карстовые процессы [6]. После его создания уровень воды в большей части района повысился на 20–22 м, в результате чего значительно поднялся и уровень подземных вод, особенно в прибрежной зоне.

Карстовые воды в гипсах и ангидритах имеют минерализацию до 3,5 г/дм³, сульфатный состав и высокую жесткость. В зоне подпора водохранилища минерализация может снижаться до 1 г/дм³. В карбонатных пачках на хорошо промытых участках содержатся пресные (до 0,5 г/дм³) гидрокарбонатные воды [1].

Дебит родников изменяется в больших пределах от 0,01 до 40 дм³/с при характерных значениях 1–5 дм³/с. В районе наблюдаются все виды разгрузки карстовых вод. Подземные воды относятся к сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-натриевой, гидрокарбонатно-кальциево-хлоридно-натриевой гидрохимическим фациям с минерализацией от 0,22 до 1,76 г/дм³[5].

Лысьвенский район локального распространения сульфатного карста (Лс). Водоносный кунгурский комплекс представлен двумя горизонтами в терригенных отложениях кунгурского яруса: кошелевским и лекским. В верхней трещиноватой зоне развиты безнапорные трещинно-грунтовые воды, питающие многочисленные нисходящие родники. Ниже дренирующей сети залегают напорные трещинно-пластовые воды. Нередко напорные воды, глубина залегания которых колеблется в пределах 6–121 м, питают восходящие источники.

По химическому составу подземные воды кунгурского комплекса весьма разнообразны. В зоне активного водообмена развиты пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией 0,1–0,54 г/дм³, редко встречаются гидрокарбонатно-натриевые с минерализацией 0,11–0,68 г/дм³. Достаточно часто встречаются сульфатно-натриевые, сульфатно-кальциевые и сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые (натриевые) воды, появление которых обусловлено выщелачиванием гипса, залегающего в виде прослоев и линз. Минерализация сульфатных вод изменяется от 0,37 до 4,1 г/дм³.

Водоносный ассельско-артинский комплекс приурочен к терригенным породам ассельского, сакмарского и артинского ярусов нижней перми. На рассматриваемой территории включает два водоносных горизонта: артинский и ассельско-сакмарский.

Преобладающий тип родников – нисходящий. Дебиты родников колеблются от 0,05 до 60,0 л/с, скважин – от 0,91 до 42,0 л/с.

В химическом составе преимущественное развитие получили пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией 0,09–0,48 г/дм³. Смешанные гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые и сульфатно-кальциевые, сульфатно-натриевые воды встречаются исключительно редко. Минерализация этих вод изменяется от 0,29 до 3,04 г/дм³. В зоне затрудненного водообмена развиты соленые сульфатные и хлоридные воды.

Нижнесылвинский район сульфатного и карбонатно-сульфатного карста (Нс) характеризуется сложным характером распространения подземных вод. В гипсоангидритах развиты разобщенные карстовые водотоки, а в известняках и доломитах филипповского горизонта и артинского яруса отмечается наличие зоны сплошного насыщения пустот водой – артинско-филипповского водоносного комплекса. Отмечается тесная гидравлическая связь поверхностных и подземных вод.

Химический состав р. Сылвы подвержен сезонным изменениям, при этом воды имеют постоянный кальциево-гидрокарбонатно-сульфатный состав. Наиболее низкие значения макрокомпонентов, минерализации 243–384 мг/дм³ и рН 7,1 характерны для весеннего периода, что связано с повышением роли талых вод в питании реки в это время. В осенний период воды р. Сылвы приобретают слабощелочной характер рН 8,1, минерализация повышается до 547 мг/дм³, что связано с подпиткой подземными водами иренского горизонта.

Изотопный состав речных вод связан с изотопным составом атмосферных осадков. Корреляционный анализ показал, что между этими показателями существует умеренная связь. Это объясняется тем, что в течение года речные воды имеют, кроме атмосферного, и подземное питание [3]. Изменения минерализации подземных вод иренского горизонта имеют сезонный характер, но не приводят к изменению химического типа воды. Вода имеет постоянный кальциево-сульфатный состав. Минерализация изменяется от 1846 до 2260 мг/дм³. Воды филипповского горизонта слабо

минерализованы (400–600 мг/дм³), но на контакте с иренскими гипсами минерализация повышается до 1500–3600 мг/дм³. В зимне-весенний период воды филипповского горизонта имеют кальциево-сульфатный состав, в летне-осенний – кальциево-магниево-сульфатно-гидрокарбонатный и кальциево-натриево-магниево-сульфатно-гидрокарбонатный [4].

Кишертский район преимущественно сульфатного и карбонатно-сульфатного карста (Кш). Вода р. Сырлы имеет постоянный кальциево-гидрокарбонатно-сульфатный состав, минерализация воды увеличивается от весеннего (475,0 мг/дм³) к зимнему (717,0 мг/дм³) периоду. Район является зоной разгрузки карстовых вод Уфимского вала. Воды локализованы вдоль трещинных и закарстованных зон, литологических контактов. К таким местам разгрузки подземных вод на восточном крыле Уфимского вала относится исток р. Кишертки, расход воды в устье в межень – около 60 л/с, в паводок – до 200 л/с. Химический состав вод р. Кишертки изменяется вниз по течению, имеет сезонный характер и зависит от условий питания. В верхнем течении у д. Низкое речная вода имеет низкую минерализацию (497–535 мг/дм³) и кальциево-магниево-гидрокарбонатно-сульфатный состав за счет разбавления более пресными водами, поступающими из карбонатных отложений. Вблизи устья минерализация повышается и в течение года изменяется от 1034 до 1408 мг/дм³, что связано с разгрузкой сульфатных вод в этой части района. Преобладающими ионами в весенний, осенний и зимний периоды являются Ca²⁺, SO₄²⁻ и HCO₃⁻, при этом в летнее время воды становятся кальциево-магниево-сульфатно-гидрокарбонатными. В районе с. Усть-Кишерт, на относительно небольшой площади, наблюдаются все виды разгрузки карстовых вод, которые фиксируются по изменению состава и минерализации водопоявлений: наземная (родниковая), субаквальная в руслах рек и на дне озер, подземная в контактирующие с гипсами и ангидритами воды других водоносных горизонтов. Дебит крупных родников достигает 1000 л/с, а удельный дебит скважин – 135 л/с (с. Ключи).

Осинцевский район закрытого соляного и сульфатного карста (Ос). В зонах повышенной трещиноватости карстуются линзы гипса и соли, залегающие среди некарстующихся отложений. Здесь полосой прослеживаются карстовые воронки, провалы, просадки, котловины, карстовые озера, а также подземные формы карста. Воронки местами заполнены водой, что приводит к образованию озер. В долинах рек вытекают солоноватые источники. На участках сульфатного карста трещинно-грунтовые воды кошелевских песчаников имеют среднюю минерализацию 656 мг/дм³, среднее содержание сульфат-ионов – 275 мг/дм³, в то время как в бассейне р. Молебки, где карстовые явления отсутствуют, эти значения составляют соответственно 227 и 7,4 мг/дм³[2].

Ачитский район сульфатного карста и кластокарста (Ач) и Кордонский район преимущественно закрытого сульфатного карста (Кр). Карст районов обусловлен деятельностью кунгурского терригенного водоносного горизонта. На западной окраине и в центральной части с. Сыра расположены многочисленные карстовые озера, крупнейшие из которых: Лубеное, Сименчи и Бурливое – находятся в различной стадии эвтрофикации.

Участки сульфатных подземных вод с минерализацией 1–3 г/дм³ приурочены к линзам конгломератов и конгломерато-брекчий. Загипсованность шешминских песчаников обусловила наличие солоноватых сульфатных вод в мало промытой их части ниже эрозионного вреза. Родники, вытекающие на юго-восточной окраине д. Копорушки в долине р. Сыры, имеют дебит 17 и 60 л/с, а источник в д. Быково (Свердловская область) – около 180 л/с [6].

Иренский район преимущественно сульфатного и карбонатно-сульфатного карста (Ир). К зоне активного водообмена приурочены грунтовые воды элювиальных и аллювиальных отложений, воды спорадического распространения соликамского горизонта ольховской брекчии, водоносный комплекс иренского горизонта кунгурского яруса. В соликамском горизонте неравномерность распространения вод обусловлена трещиноватостью иренских гипсов и ангидритов. На нарушенных участках появляется скрытый переток вод из соликамского горизонта в иренский. Иренский водоносный комплекс приурочен к сильно закарстованным гипсоангидритовым и карбонатным пачкам. В иренском горизонте развиты как разобщенные карстовые водотоки, так и водоносные горизонты. Для иренского карстового района типичны карстовые реки (Чураковка, Павловка, Ясылка, Меленка), большая часть которых является правыми притоками р. Ирени. Водообильные зоны с разгрузкой трещинно-карстовых вод более 10 л/с – Ординская и Верхнекунгурская – находятся в с. Орда и его окрестностях. Основной дренажной обоим участкам является р. Кунгур. Наиболее крупные карстовые источники с расходом более 300 л/с. – Арсеновский и Подзубовский [6].

Таким образом, основное распространение карстующихся пород приурочено к Предуральскому и Большеуральскому бассейнам. Сульфатный карст связан с водоносным горизонтом пермских отложений.

Литература

1. 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.
2. Иконников Е.А. Условия развития карста северной части Юрюзано-Сылвенской депрессии // Гидрогеология и карстоведение. 1975. Вып. 6. С. 51–55.
3. Казанцева А.С., Кадебская О.И., Дублянский Ю.В., Катаев В.Н. Гидрогеохимическая характеристика подземных вод зоны сочленения Уфимского вала и Предуральского прогиба // Известия УГГУ. 2020. Вып. 2(58). С. 83–96.
4. Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура. Пермь: Перм. гос. ун-т; ГИ УрО РАН, 2010. 236 с.
5. Килин Ю.А., Минькевич И.И. Новые карстологические исследования в районах Пермского Прикамья // Вопросы географии. 2018. Сб. 147. Спелеология и карстоведение. С. 17–29.
6. Максимович Н.Г., Кадебская О.И., Мещерякова О.Ю. Сульфатный карст Пермского края: монография. Пермь: ПГНИУ, ЕНИ ПГНИУ, ГИ УрО РАН, 2021. 302 с.
7. Потапов А.А. Региональная численная геофильтрационная модель южной части Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология. География. 2016. Вып. 3. С. 4–23.