

Катаев В.Н. Гидрогеологические условия Красноясыльского полигона: типы вод, водопроявления и их химизм // Гидрогеология и карстование: Межвуз. сб. науч. тр. / Перм. ун-т. Пермь, 2000. Вып. 13. С. 127-136.

В.Н. Катаев

V.N. Kataev

Пермский госуниверситет

**Гидрогеологические условия Красноясыльского полигона:
типы вод, водопроявления и их химизм**

**Hydro-geological conditions of Krasnoiasilsk' polygon:
types of waters, waterphenomena and them chemical composition**

The engineering-geological polygon is created within the framework of fulfilment of the complex research works on the gas pipelines of firm «Permtransgas». The polygon actuates a segment 1649-1653km of the gas mains of Uzhgorodski corridor and 1.5km zone of an abutting to it near settlement Krasni Iasil (Ordinski region of the Perm area). The purpose of creation of the polygon - improvement of the antikarst protection systems, looking up of the optimal views karst forecast and stabilization of the karst process for accident prevention on the gas mains. In activity the outcomes of hydrogeological observations and hydrochemical test conducted on polygon by the employees of Karstology and Speleology Institute in the field period 1997y. are adduced.

Инженерно-геологический полигон создан в рамках выполнения комплексных исследовательских работ на газопроводах предприятия «Пермтрансгаз». Полигон включает участок 1649-1653км магистральных газопроводов Ужгородского коридора и 1.5км зону примыкания к нему в районе п.Красный Ясыл (Ординский район Пермской области). Цель создания полигона – отработка систем противокарстовой защиты, поиск оптимальных видов карстологического прогноза и стабилизации карстового процесса для предотвращения аварий на магистральных газопроводах. В работе приведены результаты гидрогеологических наблюдений и гидрохимического опробования, проведенного на полигоне сотрудниками Института карстования и спелеологии в полевой период 1997г.

Подземные воды. В пределах полигона подземные воды, встреченные на различных глубинах, отнесены к трем типам по их местоположению в геологическом разрезе.

«Верховодка» имеет спорадическое распространение и проявляется в периоды дождей и снеготаяния преимущественно на контактах грунтов с различными фильтрационными свойствами. Например, между техногенными грунтами и элювиально-делювиальными плотными глинисто-суглинистыми отложениями. Воды верховодки с инфильтрационным питанием зафиксированы в старых засыпанных воронках, на склонах логов на глубинах 2.0-6.0м, а также под трубами газопроводов на глубине 2.0-3.0м от трубы, где имеют преимущественно конденсационное питание на контакте «труба-земля».

Воды обвально-карстовых отложений имеют спорадическое распространение и встречены в тальвегах логов, реже на поверхностях локальных водоразделов. Этот тип вод встречен в суглинках, супесях со щебнем, дресвой сульфатных и карбонатных пород на глубинах 9.0-15.5м. Мощность горизонта вод обвально-карстовых отложений зависит от наличия в разрезе относительно водупорных слоев, трещинных зон, поноров и составляет 0.5-4.4м. Питание вод смешанное - инфильтрационно-инфлюационное. Воды гидравлически связаны с трещинно-карстовыми водами карстующихся пород иренского горизонта, куда происходит их разгрузка. Химический состав этих вод, минерализация, дефицит насыщения сульфат-ионом изменяются в зависимости от водности сезона. Например, в меженный период для этих вод характерен $\text{SO}_4\text{-Ca-HCO}_3\text{-Na}$ состав, высокая минерализация (свыше 2.0 г/дм^3), отсутствие дефицита насыщения, но в паводковый период, в условиях разбавления поверхностными водами, их состав может измениться на $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$, минерализация падает до $0.6\text{-}0.8 \text{ г/дм}^3$, они приобретают дефицит насыщения до 1.4 г/дм^3 .

Трещинно-карстовые воды иренского горизонта разобщены по вертикали в зависимости от литолого-стратиграфической принадлежности пород (лунежская, демидковская, неволинская и др.пачки). В пределах полигона воды лунежской пачки в разрезе имеют сложное распространение - типичное для карстующихся пород. На отдельных ограниченных участках локальных водоразделов, там где трещиноватость в породах распространена равномерно и не локализована в

трещинные зоны, воды имеют сплошное зеркало. Характерным же для территории полигона является наличие разобщенных водотоков, пространственно тяготеющих к прибортовым частям карстово-эрозионных логов. Примером является водообильная зона, подтверждаемая буровыми, геофизическими и гидрологическими исследованиями в пределах лога Арапов Ключ. Водообильность зоны составляет $2974015.6\text{ м}^3/\text{год}$. Глубина залегания подземных вод в таких зонах достигает 8.5-11.2м. Вместе с тем, скважины, расположенные в непосредственной близости от водообильных зон, до глубин 18-20м могут быть сухими, что свидетельствует о строгой локализации трещинно-карстовых вод и хорошей изоляции водоносных зон. Воды, как правило, безнапорные. Исключение составляют воды локализованных зон, напор в которых определяется неоднородностью трещинной проницаемости - сменой фильтрационных характеристик трещинного коллектора зоны по потоку. Напор не исключается и в паводковые периоды, когда объемы поступления вод в массив превышают объемы разгрузки и дренажа этих вод. Глубины залегания подземных вод иренского горизонта изменяются от 8.4 до 34.7м. Обводнены в основном гипсы верхней части разреза, ангидриты нижней части разреза обводнены спорадически. Общее направление грунтового потока - двустороннее, на запад к долине р.Ирень и на восток к долине р.Кунгур. Питание вод смешанное - инфильтрационно-инфлюационное. Минерализация вод возрастает в зависимости от глубины их залегания и составляет $2.4-3.2\text{ г/дм}^3$. Состав вод преимущественно $\text{SO}_4\text{-Ca}$.

Территория полигона приурочена к западному крылу Уфимского брахиантиклинала, осложненному неотектоническими куполовидными структурами и разрывными нарушениями сбросо-взбросового и сдвигового типов. Именно неотектонические нарушения определяют ориентировку эрозионных, карстово-эрозионных и карстовых форм всей территории Иренского карстового района и полигона в частности. Разрывные нарушения четвертого-пятого порядков ограничивают тектонические блоки, образуя дизъюнктивный каркас карстующегося массива. Их ориентировки: субмеридиональная, субширотная и «диагональная»

повторяют ориентировки разломов первого и второго порядков, выявленных в районе дистанционными методами [3]. В пределах полигона карстовые воды дренируются долиной Ясыльского и впадающих в него логов. Разгрузка происходит в виде родников, дебиты которых весьма изменчивы (0.02-0.15 в межень и до 400дм³/с весной). Родники расположены в гидродинамических зонах переходной и горизонтальной циркуляции подземных вод [4]. Разгрузка происходит и в расчлененном подземном варианте в отложения дна Ясыльского лога.

Поверхностные водопроявления. На территории полигона выделено три типа поверхностных водопроявлений: карстовые озера, локализованные водотоки, родники.

Карстовые озера представлены тремя разновидностями. Озера-воронки поверхностного питания. Котловинами озер являются воронки различных морфологических типов: блюдце-, чаше-, конусовидные. Озера распространены по днам логов. Их количество и степень заполнения увеличивается от верховьев к устьевым частям логов, где дисперсный, тонкообломочный материал имеет наибольшую мощность, поноры в воронках закольматированы, а уровень подземных вод приближается к поверхности. Размеры озер в плане весьма изменчивы. Поперечные размеры изменяются от 2 до 20м (ср.10 м), глубина от 1.5 до 4.0м (ср.3.0м). Форма периметра озер изометричная или овальная. Необходимо отметить, что наблюдения были проведены в меженный период, когда большая часть воды в озерах была сдренирована. В весенние периоды параметры водной поверхности озер и глубины увеличиваются. В период глубокой межени и в маловодные годы озера, вероятно, исчезают. Все встреченные озера на период исследований (июль-август) являлись бессточными и не имеющими поверхностных притоков. Их питание осуществлялось за счет атмосферных вод. Однако, судя по следам поверхностных водотоков, на период паводка озера должны быть отнесены к приточно-сточному типу. Основной водный объем озера формируют именно в паводковый период. Озера данного типа являются пополнителями запасов подземных вод локализованных поддолинных и прибортовых потоков карстово-

эрозионных логов. *Воды данного типа озер являются начальными элементами (элементами на входе) гидрохимической модели карстового массива*, в пределах которого расположен полигон. Озера приурочены к зоне приповерхностной циркуляции вод. Днища этих озер являются подвешенными по отношению к уровню карстовых вод. В соответствии с генетической классификацией Г.А.Максимовича и К.А.Горбуновой этот тип относится к озерам области поглощения [5].

Озера-воронки со смешанным питанием. Данный тип озер встречен в тальвеговой части днища Ясылского лога. Эти озера являются типичными гидрогеологическими окнами или озерами, вскрывающими подземные воды и генетически относятся к озерам подземного стока [5]. Озера имеют в поперечнике размеры 2-3м и глубину до 3м. Происхождение котловин - коррозионно-провальное. Озера принадлежат (в зависимости от водности сезона) к гидродинамической зоне горизонтальной ненапорной или напорной циркуляции. Основное питание озер подземное, дополнительное питание озеро получает от временного поверхностного водотока в паводковый период и незначительное питание приходится на атмосферные осадки и конденсат. Озера бессточные с поверхности. Подземное питание и одновременный подземный сток осуществляется через поноры на дне котловины. Озера постоянные, их существование не зависит от водности сезона.

Озера родниковых котловин. Данный тип озер встречен в устье лога Скальный и в средней части Ясылского лога, из которого берет начало р.Ясыл. Котловины озер имеют коррозионно-эрозионное происхождение, их поперечные размеры 2-3м, а глубина достигает 4.5м. Подобные озера характерны для участков разгрузки карстовых вод зон вертикальной нисходящей и сифонной циркуляции. Озера имеют поверхностный сток, дебит которого меняется не только в зависимости от водности сезона, но и в течение суток. Особенно заметны колебания объемов стока в зависимости от конденсата в меженный период, когда расходы озера минимальны.

Воды озер со смешанным питанием являются переходными, а воды озер родниковых котловин - конечными элементами гидрохимической модели зоны активного водообмена карстового массива.

Родники. В пределах полигона выявлено три разновидности родников. Согласно классификации карстовых источников [5] 1) родники, дающие питание озерам подземного стока, относятся к группе денудационных, типу полейев, подтипу эставелл. При больших водопритоках (паводковых) по трещинам и карстовым каналам они действуют как родники, а при малых (меженных) как поглощающие поноры. 2) Родники, питающие озера типа родниковых котловин, относятся к группе денудационных, типу эрозионных, подтипу долинных (ключевые горшки). Воды родника, дающие начало р. Ясыл, получают основные объемы питания не столько из зоны концентрированного стока под днищем лога, сколько из трещинно-карстовых зон внутриблоковых перетоков. Данный вывод обусловлен относительно низкой минерализацией вод истока (2355.25 мг/дм^3) в июле-августе по сравнению с водопроявлениями выше по логу, включая и его притоки ($2420-2575 \text{ мг/дм}^3$). В октябре-ноябре минерализация вод истока достигает и превышает минерализацию вод в скважинах на глубинах 15-18м (3216.92 мг/дм^3). Подобные инверсии в минерализации вод истока р. Ясыл происходят на фоне незначительных снижений расходов потока (на 25-30%), не сравнимых с потерями расходов поверхностных русловых водотоков (в 10 и более раз). 3) Родники приуроченные к верховьям карстово-эрозионных логов, а также родники в устье лога Арапов Ключ отнесены к группе смешанных, подтипу трещинно-эрозионных. Тип родников установить сложно, но учитывая блоковое строение территории, наиболее вероятно их трещинная или сбросово-плотинная обусловленность. Родники восходящие, постоянные.

Локализованные водотоки на территории полигона зафиксированы в Ясылском логу, средней и верховых частях лога Арапов Ключ, двух левых притоках Ясылского лога. В отличие от полностью поверхностных водотоков левых притоков Ясылского лога водотоки логов Ясылский и Арапов Ключ имеют

фрагменты поверхностного и подземного стока. Питание водотоков родниковое. Режим связан с режимом подземных вод и зависит от водности сезона. Период относительной водообильности водотоков связан с периодом активной сработки трещинно-карстовых вод массива, окончание которого запаздывает от окончания периода активного снеготаяния на 2-2.5 месяца. На пути руслового потока фрагментарно происходит его полный или частичный перехват в поноры или инфильтрационный перехват в иловато-суглинистые отложения днища логов.

Гидрохимическая обстановка территории полигона. При аналитической обработке результатов лабораторных анализов проб воды использована комплексная методика, разработанная для районов развития сульфатного и карбонатного карста [1, 6]. Территория полигона характеризуется значительной пестротой минерализации и химического состава вод. Величина минерализации колеблется от 183 до 3545 мг/дм³. Средняя минерализация равняется 2100 мг/дм³ ± 885 мг/дм³, C_v=0.41, рН - от 6.3 до 8.1 (ср.7.1, ± 0.4, C_v=0.14). Выделено 10 гидрохимических типов воды: С-К-78%, С-НК и СГ-М по 4%, ГС-К, ГС-Н, ГС-НК, ХГС-НК, ХГС-КН, СГ-К, СГ-МК по 2%*. Данный набор гидрохимических типов свидетельствует о сложных условиях формирования химического состава вод их вероятным смешением из разных водоносных горизонтов, развитых как в сульфатных, так и карбонатных и карбонатизированных отложениях. Пестрота содержания нитратов аммония, железа, кремния в разных формах, а также высокая величина окисляемости свидетельствуют о сильной загрязненности вод.

Ясылский лог, верховья. Проба, отобранная из пещеры Пономаревская I, характеризуется самой высокой в выборке минерализацией (3545 мг/дм³), С-НК типом воды и высокой загрязненностью, о чем свидетельствует повышенное содержание NO₃, NH₄, Fe, SiO₂, H₂SiO₃ и окисляемости. Проба, отобранная из карстовой воронки на дне Ясылского лога в 500 м ниже пещеры, имеет меньшую минерализацию (всего 817 мг/дм³) и загрязненность. Тип воды - ГС-НК. В пробе, отобранной из пруда-нефтеловушки, в 250м ниже по логу от воронки, вновь на-

• Типы вод: С-сульфатный, К-кальциевый, Г-гидрокарбонатный, М-магниевый, Х-хлоридный, Н-натриевый

блюдается повышение минерализации (2738 мг/дм^3) и С-К состав. В нефтеловушке происходит смешение вод разных гидрохимических типов и минерализации, приводящее к разбавлению высокоминерализованных вод Пономаревской пещеры.

Ясылский лог (среднее течение). Водопроявления в данной части Ясылского лога образуют одну генеральную совокупность, характеризующуюся исключительно С-К химическим составом и незначительно меняющейся минерализацией - от 1930 до 2624 мг/дм^3 (ср. 2422 мг/дм^3), рН от 7.0 до 7.4 (ср. 7.1).

Ясылский лог (низовья). Минерализация воды в истоке р. Ясыл изменяется от 2355 до 2575 мг/дм^3 , рН 8.1 и С-К состав.

Лог Аранов Ключ (правый приток Ясылского лога). На графике Дурова анализы проб воды образуют две четкие группировки. Первая - карстовые воронки с озерами в притоках лога имеет низкую минерализацию (ср. 240 мг/дм^3), пестрый ХГС-КН, СГ-КН, ГС-К состав, пониженное рН (ср. 6.4). Вниз по потоку отмечается увеличение содержания сульфатов, свидетельствующее о возможном подтоке вод из сульфатных отложений цоколя лога. Вторая группировка - ручьи в нижней части лога имеет высокую минерализацию (ср. 2500 мг/дм^3), С-К состав, более высокое рН (ср. 7.0).

Кластерный анализ результатов гидрохимического опробования. В выборке анализов полевого гидрохимического опробования четко выделяется ряд из четырех кластеров (2-5): воронки (2), воронки и ручьи (3-4), ручьи и родники (5). Кластер 6 представлен пробами: воронки и родники. Кластер 6 является логическим продолжением указанного ряда и близок по показателям к кластеру 5, но с небольшим занижением минерализации, HCO_3 , SO_4 , Са. Кластер 1 представлен только водами колодцев, опробованных на территории с. Кр. Ясыл. Кластер абсолютно обособлен, что свидетельствует о химической самостоятельности вод, не связанных с формированием химического облика вод полигона.

Указанный кластерный ряд объединяет «более поверхностные» химические формы вод (2 - только воронки), через переходные формы (3-4 - воронки и

ручьи) к «более подземным» формам (5-6 - ручьи и родники). Кластер 2 обеспечен компонентами проб, отобранных из подвешенных карстовых озер области поглощения. Это пробы верховьев, средних и приустьевых частей карстово-эрозионных логов Арапов Ключ, Авария, Скальный. Их характеризует высокое содержание Fe^{++} , Fe^{+++} , кислая среда (рН 6-6.5), минимальное содержание Са и SO_4 (0-100мг/дм³) и низкая минерализация (до 500мг/дм³). Кластер 3 характеризует воды переходного состава с высоким содержанием SO_4 и HCO_3 , рН 6.8-7.3 и минерализацией от 700 до 1500 мг/дм³. В основном это воды карстовых озер атмосферного и паводкового питания со слабой подземной подпиткой днища верховьев Ясыльского лога. Интересен тот факт, что аналогичный состав имеет р.Ирень до впадения в нее р.Ясыл. Кластер 4 также переходного состава, но в отличие от проб кластера 3 минерализация вод приближается к 2000мг/дм³, содержание SO_4 превышает 1000 мг/дм³, а Са содержится в пределах 400-500мг/дм³. Компонентный состав вод, представленных в кластере, характерен для вод карстовых озер атмосферного, паводкового и сильного подземного питания средней части Ясыльского лога. В эту же группу попадают и воды р.Ирень ниже впадения р.Ясыл. Кластер 5 является фоновым и объединяет пробы из ручьев и родников левых притоков Ясыльского лога (от верховьев до устьев), самого лога и устьевых зон правых притоков Ясыльского лога. Воды максимально минерализованы (более 2500 мг/дм³) с высоким содержанием SO_4 (1500 и более мг/дм³), Са (до 600 и выше мг/дм³) и HCO_3 (до 300 и выше мг/дм³). рН вод изменяется в широких пределах (6.6-8.1), но характерным является рН 7.2-7.3.

Анализ результатов гидрохимического окрашивания. Трассировка подземных потоков проведена методом ионного паводка. В качестве индикатора использовался хлористый аммоний (NH_4Cl).

Для средней части лога Арапов Ключ при расстоянии между местом запуска и фиксации индикатора 950м и с учетом только подземного фрагмента трассы получены скорости перемещения подземного потока - 0.004 м/с или 0.38км/сут. Для нижней, приустьевой части лога Арапов Ключ при расстоянии

между точкой запуска и фиксации индикатора 650м получены скорости подземного потока 0.007-0.005м/с или 0.65-0.42км/сут. в зависимости от времени начала или окончания фиксации индикатора. В среднем скорости составляют 0.006 м/с или 0.53 км/сут. Средняя скорость подземного потока по логу составляет 0.45 км/сут.

Для отрезка подземного потока в средней части Ясыльского лога скорость прохождения индикатора на подземном фрагменте длиной 400м составила 0.016 м/с или 1.43км/сут. Данная скорость ниже чем для районов карбонатного карста в горно-складчатых областях (2.6-5.2км/сут), но значительно выше, чем скорости движения вод в трещинных зонах верховья лога и его притоков и много выше, чем в некарстовых коллекторах, что необходимо учитывать при дальнейших гидрогеологических и инженерно-геологических расчетах и построении гидродинамической модели полигона [2, 7].

Неоднозначность скоростей связана с неоднозначной трещинной проницаемостью массива.

Результаты окрашивания подземного потока Ясыльского лога флюоресцином. Приведем результаты эксперимента в верховьях Ясыльского лога – от пещеры Пономаревская I до пруда нефтеловушки. На момент заброски красителя скорость пещерного потока составляла 0.3 м/с, ориентировочный расход потока - 0.005м³/с. Пещера расположена в воронке на пологом склоне верхового отвершка Ясыльского лога, а пещерный поток локализован трещинно-карстовой прибортовой зоной. В пещере фиксируются два потока - с севера на юг и с юга на север, сливающиеся в единый поток в дальней от входа части пещеры, уходящий по боковому ходу на северо-запад к осевой части лога. Учитывая изложенные факты, логично было предположить, что окрашенный поток будет локализован в тальвеговой части Ясыльского лога. Вместе с тем, краситель в ближайшем карстовом озере-воронке тальвега не зафиксирован, хотя по данным химического анализа озеро подпитывается подземными водами.

Выход красителя зафиксирован в юго-восточном борту пруда-нефтеловушки из трех точечных, затопленных в настоящее время источников. Согласно геоморфологической ситуации пруд-нефтеловушка расположен в устье юго-восточного верхового отвершка Ясыльского лога, подземный поток которого разгружается в Ясыльский лог в виде восходящих источников на дне нефтеловушки. Вероятно, что прибортовой подземный поток от верховьев Ясыльского лога (пещера Пономаревская I) в устьевой части отвершка перехватывается трещинной зоной отвершка, смешивается с ним и разгружается в виде одного из трех источников. По «прямой», от пещеры до выхода красителя в расстояние составляет 700м. Учитывая время прохождения красителя - 6 час 30 мин, несложно подсчитать скорость подземного потока в трещинно-карстовых зонах верховьев Ясыльского лога. Ориентировочно она составляет 0.03м/с, что в 10 раз меньше, чем скорость открытого пещерного потока или 2.8км/сут. Полученное значение весьма близко к скоростям в трещинно-карстовых зонах карбонатных пород горно-складчатых областей.

Важен результат, полученный в ходе эксперимента, а именно - установление скоростей передвижения локализованных подземных вод в условиях практически горизонтально (1-2°) залегающих пластовых гипс-ангидритов интенсивно трещиноватых и закарстованных, покрытых с поверхности только почвенно-растительным слоем, кровля которых осложнена плоскими врезами верховьев карстово-эрозионных логов.

Автор признателен профессору кафедры инженерной геологии и охраны недр ПГУ В.Н.Дублянскому и доценту кафедры динамической геологии и гидрогеологии ПГУ Ю.А.Яковлеву за выполнение предварительной аналитической и кластерной обработки результатов химического анализа проб воды.

Библиографический список

- 1.Дублянский В.Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. Л.: Наука, 1977. 181с.
- 2.Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Гидрогеология карста Альпийской складчатой области юга СССР. М.:Наука,1984.125с.

3. Катаев В.Н. Структурно-тектонические условия формирования Кунгурской пещеры // Пещеры. Итоги исследования. Пермь, 1993. С.121-130.
4. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь, 1963. Т. I. С.104-139.
5. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь, 1969. Т. II. С.253-382.
6. Проблемы изучения карстовых полостей гор южных областей СССР. Ташкент: ФАН, 1983. 148с.
7. Underground water tracing. Ljubluana, 1976. 128p.