

**ИЗУЧЕНИЕ КАРСТООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕНСКОГО РАЙОНА
РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ МАГИСТРАЛЬНОГО
ТРАНСПОРТА НЕФТИ И ГАЗА**

А.В. Ермолаева, И.Н. Алимova

Научные руководители профессор Л.А. Строкова; профессор Е.М. Дутова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время к современным газотранспортным системам предъявляются все более высокие требования с точки зрения надежности, долговечности, промышленной и экологической безопасности. Эксплуатация магистральных газопроводов сопряжена с работой в неблагоприятных динамических, инженерно-геологических, природно-климатических условиях. По обобщенным данным научных исследований и официальными данными ОАО «Газпром» 42 % всех аварий на линейной части магистральных газопроводов (рис. 1) обусловлено прямым или косвенным воздействием природных факторов. В связи с расширением единой системы газоснабжения (далее – ЕСГ), с проектированием магистрального газопровода «Сила Сибири», эксплуатация трубопроводов обуславливается все более сложными инженерно-геологическими условиями. Особые трудности возникают при строительстве объектов трубопроводного транспорта на закарстованных территориях ввиду сложности идентификации и прогнозирования развития процесса. Карстовые процессы, несмотря на их широкое распространение, в актах расследования причин аварий отмечены, как факторы, способствующие авариям на МГ в зонах ответственности ООО «Газпром трансгаз Чайковский», ООО «Газпром трансгаз Уфа». Источниками разрушения газопроводов в этих случаях являются механические напряжения, превысившие предел прочности металла трубопровода, возникшие вследствие просадки грунта в зоне карстовой воронки.

Факторы, способствующие возникновению отказов:

- ✓ Недооценка опасности процесса на стадии проектирования;
- ✓ Отступление от проекта при строительстве.



**Рис. 1. Обобщенная статистика по аварийности,
инициированных природными источниками**

Учитывая вышеизложенное, рассмотрим в данной статье участок трассы проектируемого газопровода «Сила Сибири» на отрезке «Чаяндинское НГКМ-Ленск» на предмет карстообразования. Исследуемая территория расположена в Ленском улусе Республики Саха (Якутия). Комплексные инженерные изыскания выполнены ФГУП «ВостСиб АГП», ООО «Промнефтегазпроект», ООО «Ингеоком», ОАО «Фундаментпроект», ЗАО «НПФ «ДИЭМ»» в 2010-2012 годах. Протяженность трассы составляет 160 км. Район мало изучен и слабо освоен в хозяйственном отношении.

Территория относится к зоне массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород (ММП). Наиболее низкие среднегодовые температуры ММП до минус 1,7°C характерны для днищ долин и нижних частей склонов, наиболее высокие температуры ММП (до 0 – минус 0,6 °C) приурочены к водораздельным пространствам, привершинным частям пологих склонов. В долинах ручьев развиты русловые талики, приуроченные как к зонам тектонической трещиноватости, так и к площадям развития подруслового карста в карбонатных породах.

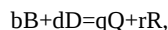
В областях развития пород карбонатной формации широко распространены карстовые формы. Развитию карстовых процессов способствует глубокое расчленение территории и трещиноватость массива пород. Образование карста связано с химическим растворением карбонатных пород поверхностными и подземными водами, которое активно протекает по ослабленным трещиноватым зонам на выровненных поверхностях карбонатных гряд, представляющих собой ядра антиклинальных складок. В петрографическом составе кембрийских карбонатов присутствуют гипсы и ангидриты, доломиты, известняки, в связи с этим варьирование по мощности и в плане закарстованных толщ достаточно велико.

Для оценки характера и поведения подземных вод с горными породами на исследуемом участке по данным опробования произведены расчеты показателей системы вода-порода. В основу расчетов для

прогнозирования поведения карбонатных пород в карстующихся водах, была принята методика термодинамики Р.М. Гаррелса и Ч.Л. Крайста [6].

Взаимодействие между породами и природными водами, к равновесию с гидрохимической средой которых направлено на изменение минерального вещества, можно рассматривать как отдельные химические реакции. Начальными продуктами этих реакций являются какие-либо определённые минералы и вода, конечными – минералы, возникающие как продукт изменения первых.

В общем виде любая реакция взаимодействия может быть выражена следующим схематическим уравнением:



где b, d, q, r – стехиометрические коэффициенты исходных веществ (B, D) продуктов реакции (Q, R).

Термодинамическая константа равновесия в подобной реакции выражается уравнением:

$$K^{\theta} = \frac{a^q Q^* a^r R}{a^b B^* a^d D}$$

Так же следует отметить сравнительную агрессивность подземных вод. Эта величина показывает степень неравновесности подземных вод с минеральным веществом. Изучение агрессивности вод исследуемой территории по отношению к основным породообразующим минералам является первым и необходимым шагом в изучении процессов взаимодействия в системе вода-порода. Это позволит нам судить о вероятных направлениях минерального вещества и возможность выявления вероятных минеральных ассоциаций.

Агрессивность природных вод по отношению к любому минералу вычисляются по уравнению:

$$A = \ln \frac{K^{\theta}}{\frac{\text{анпрод. реак.}}{\text{аусх. вещ.}}} = \lg \frac{K^{\theta}}{Q}$$

где Q – квотант реакции [Гаррелс, Крайст, 1986] [2].

Оценка равновесия карбонатных пород в карстующихся водах, производилась с использованием программного комплекса HydroGeo, разработанного М.Б. Букаты (1999) [1].

В систему расчетов были приняты такие базовые ионы, как H^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , OH^- , Cl^- , $(HCO_3)^-$, $(SO_4)^{2-}$, H_2O . Такие ассоциаты: $(CO_3)^{2-}$, H_2CO_3 , $(CO)^{2+}$, CO_2 , $NaHCO_3$, Na_2CO_3 , $(NaCO_3)^-$, Na_2SO_4 , $(NaSO_4)^-$, $NaHSO_4$, $NaCl$, $NaOH$, $Mg(HCO_3)_2$, $(MgHCO_3)^+$, $(Mg(CO_3)_2)^{2-}$, $MgCO_3$, $MgSO_4$, $(Mg(SO_4)_2)^{2-}$, $(MgHSO_4)^+$, $Mg(HSO_4)_2$, $MgCl^+$, $MgCl_2$, $Mg(OH)_2$, $MgOH^+$, H_2SO_4 , $(HSO_4)^-$, HCl , $(CaHCO_3)^+$, $Ca(HCO_3)_2$, $(Ca(CO_3)_2)^{2-}$, $CaCO_3$, $(Ca(SO_4)_2)^{2-}$, $CaSO_4$, $Ca(HSO_4)_2$, $(CaHSO_4)^+$, $CaCl^+$, $CaCl_2$, $CaOH^+$, $Ca(OH)_2$. И следующие минералы $MgCO_3$ (согг.) - магнезит (согг.), $MgCO_3$ - магнезит, $CaCO_3$ к - кальцит, $CaCO_3$ к (IV) - кальцит-IV, $CaCO_3$ а - арагонит, $CaMg(CO_3)_2$ н - доломит (неупор.), $CaMg(CO_3)_2$ у - доломит (упоряд.), $CaMg_3(CO_3)_4$ - гунтит, $CaMg(CO_3)_2$ - доломит, $NaHCO_3$ – нахколит. Расчет производился при заданной температуре в $22^\circ C$ и давлении 0,1 МПа.

По результатам произведенных расчетов равновесия кальцита к изучаемым водам, была выведена корреляционная зависимость, которая позволила оценить возможность образования опасных карстовых процессов на исследуемой территории.

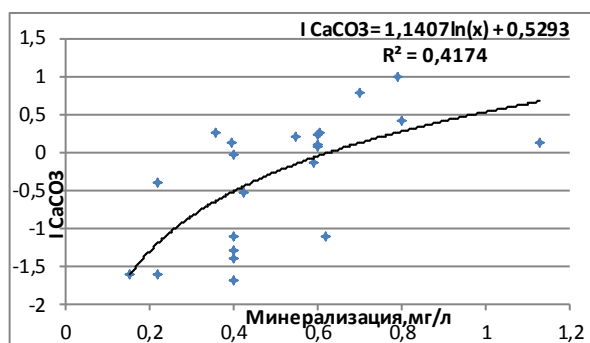


Рис. 2. График зависимости неравновесности кальцита к величине минерализации

На основе расчетов химического анализа, производимых с помощью программного обеспечения HydroGeo, определялось наличие или отсутствие равновесия в системе кальцита - подземные воды. По полученным данным был построен график зависимости индекса неравновесности $CaCO_3$ с величиной минерализации. Связь описывалась логарифмическим уравнением с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,41$. Анализируя график, делаем вывод, что воды с минерализацией свыше 0,6 мг/л насыщены к кальциту и в этих участках опробования воды, угрозы процесса карстообразования либо нет, либо процесс будет иметь пассивный характер.

Литература

1. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения в области нефтегазовой гидрогеологии. // Разведка и охрана недр. – Томск, 1997. – №2. – С.37–39.
2. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. – М.: Мир, 1968. – 368 с.
3. Гвоздецкий Н.А. Карст. – М.: Мысль, 1981. – 214 с.
4. Гвоздецкий Н.А. Карстовые ландшафты. – М.: Изд-во Московского. Университета, 1988. – 112 с.
5. Зверев В.П. Энергетика гидрогеохимических процессов современного седиментогенеза. – М.: Наука, 1983. – 136 с.
6. Зверев В.П. Подземные воды земной коры и геологические процессы. – М.: Научный мир. 2007. – 256 с.
7. Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования. – Пермь: Изд-во Пермского университета. 2001. – 85 с.
8. Макеев З.А. Принципы инженерно-геологического районирования // Карстоведение, 1948 №4. – С.43-45.
9. Максимович Г.А. Основы карстоведения. – Пермь: Кн. изд-во, 1963. – Т. 1. – 443 с.
10. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 322 с.
11. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстоведение. – Москва: Изд-во «Недра». 1990. – 151 с.
12. Хоменко В.П. Нормативная оценка карстовой опасности: кризисная ситуация // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: материалы Российской конференции с международным участием (22-23 мая 2012 г., г. Уфа). – Уфа: БашНИИстрой. 2012. – С. 240–245.
13. Щербakov С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгур) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. Т 153, книга 1, 2011. — С. 203–224.
14. Fleury S. Land Use Police and Practice on Karst Terrains. Living on Limestone. – Springer Science. 2009. – 153 p.
15. Strokova, L.A. 2009. Numerical model of surface subsidence during subway tunneling. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 46(3): 117–119.
16. Strokova, L.A. 2010. Methods of estimating surface settlement during driving of urban tunnels. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 47(3): 92–95.

**ВЛИЯНИЯ КРАПИВИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА КОМПОНЕНТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ**

А.В. Карманова

Научный руководитель профессор В.К. Попов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Расположение Крапивинской ГЭС предполагает проектом строительство в Кемеровской области в средней части бассейна реки Томи. Ее строительство началось еще в 1975 году, но в 1989-м из-за ряда причин, была приостановлена. Создание водохранилища в наибольшей мере отвечает интересам водоснабжения промышленности и населения Кузбасса. Создание будущего водохранилища, как практически любая деятельность водохозяйственных систем, связана как с положительными, так и с отрицательными воздействиями на окружающую среду. После заполнения водохранилища будут развиваться процессы подпора уровня подземных вод и подтопление территории, склоновые процессы и переработка берегов, процессы заиления водохранилища и всплывание торфов, размыв русла в нижнем бьефе.

Бассейн р. Томи расположен на юге Западной Сибири, территориально относится к Кемеровской и Томской областям. Река Томи, правый приток р. Оби, берет начало на западном склоне Абаканского хребта. Общее направление течения реки с юго-востока на северо-запад. Длина реки 827 км, площадь водосбора 62 тыс. кв. км. Створ Крапивинского гидроузла расположен на расстоянии 439 км от истока реки [1].

Климат бассейна континентальный, с суровой продолжительностью зимой и коротким теплым летом. Начиная с сентября, происходит заметное понижение температуры. В ноябре средняя месячная температура отрицательная. Наиболее холодным месяцем является январь, его средняя температура -19,5 °С. Наиболее частным в районе проектируемого гидроузла являются ветры юго-западного, южного и северо-восточного направлений. Годовое количество осадков составляет 600-700 мм. Средняя глубина промерзания почвы достигает 211 см, наименьшая-139 см, наибольшая-263 см.[1].

Река Томи принадлежит к рекам со смешанным питанием. Питание ее происходит: 40 % за счет таяния снега, 30 % за счет дождей и 30 % за счет подземных вод. Вследствие выпадения дождей в реке наблюдается подъем уровня на 0,5-1,5 м. наиболее значительные дождевые паводки наблюдается в сентябре-октябре. Замерзание реки Томи сопровождается появлением шуги и образованием зажоров, которые как правило не носят катастрофического характера [1].

В геологическом строении района, где располагается Крапивинский створ, принимают участие осадочно- метаморфические породы девона, карбона, перми, триаса и юры, представленные чередованием конгломератов, песчаников, алевролитов и глин. Отложения девона, карбона и перми слагают здесь крупную брахиантиклинальную складку, именуемую Крапивинским куполом. Минерализация не превышает 0,8 г/л. Подземные и поверхностные воды не обладают агрессивными свойствами по отношению к любым маркам цемента [2].

Вследствие, заполнения и эксплуатации Крапивинского водохранилища, будут развиваться геоэкологические процессы, которые будут влиять на данную территорию и располагающие вблизи местности: