

## Коррозия трубной стали во влажных болотно-торфяных грунтах юга Западной Сибири

**Э.П. Мингалев,**

**А.Г. Перекупка,** к.ф.-м.н.

(ОАО «Гипротюменнефтегаз»,  
Группа ГМС),

**С.М. Соколов,** д.т.н.

(Тюменский гос. нефтегазовый  
университет)

Адрес для связи: perekoupka@gtng.ru

**Ключевые слова:** инженерно-экологические изыскания, геоэкологическое опробование, лабораторные химико-аналитические исследования; радиологические исследования, оценка радиационной обстановки.

Изучению коррозионных процессов на металлической поверхности подземных трубопроводов посвящено много отечественных и зарубежных работ, однако до настоящего времени не существует единой методики определения агрессивности грунтов. В начале освоения нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири коррозионная агрессивность грунтов оценивалась в основном по их удельному электрическому сопротивлению, так как только этот параметр имел нормативные критерии определения агрессивности грунтов (СН 266-63). Согласно ГОСТ 9.015-74 «Единая система защиты от коррозии и старения. Подземные сооружения. Общие технические требования» для всех подземных стальных трубопроводов, кроме магистральных, коррозионную агрессивность грунтов по отношению к углеродистой и низколегированным сталям определяли по трем показателям: удельному электрическому сопротивлению грунтов; потере массы образцов (метод трубки и банки); плотности поляризации тока.

В настоящее время коррозионную агрессивность сезонных грунтов по отношению к углеродистым и низколегированным сталям оценивают в полевых и лабораторных условиях по удельному электрическому сопротивлению грунтов (Ом·м) и (или) средней плотности катодного тока ( $A/m^2$ ) при смещении потенциала на 100 мВ в отрицательную сторону от стационарного потенциала стали в грунте (ГОСТ ИСО 9.602-2005 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии»). Указанные в ГОСТ ИСО 9.602-2005 показатели и методы их определения имеют оценочный характер, а термины «низкая», «средняя» и «высокая» не характеризуют агрессивность грунтов, так как не дают количественной информации о потере массы металла с площади поверхности в единицу времени и не свидетельствуют о воз-

### Corrosion of pipe steel in wet boggy peat soils in the south of Western Siberia

E.P. Mingalev, A.G. Perekupka

(Giprotyumenneftegaz OAO, HMS Group, RF, Tyumen),

S.M. Sokolov (Tyumen State Oil and Gas University, RF, Tyumen)

E-mail: perekoupka@gtng.ru

**Key words:** soil corrosion activity, pipe steel corrosion rate, field pipeline corrosion prevention.

The article contains results on continuous, lasting 38 years and a half, examination of steel pipe witness-samples laid in wetland soils and sands of Pavloskaya corrosion station, the Tyumen city area, defining corrosion rate and behavior.

можной глубине коррозии металла во времени. Не учитывается влияние климатических факторов, определяющих происходящие в грунтах физико-химические, температурные и микробиологические процессы. При этом принимается, хотя и со значительными оговорками, что коррозионная агрессивность грунтов приблизительно может быть определена по их удельному электрическому сопротивлению.

Наиболее достоверным, по мнению авторов, является метод полевых исследований кинетики и характера коррозии трубных сталей в конкретных почвенно-климатических условиях. Этот метод позволяет с достаточно высокой точностью определять скорость коррозии стали с учетом многообразия факторов и процессов, протекающих в грунтах, и сравнивать ее со скоростью в аналогичных природно-климатических условиях в разных районах страны. Метод был апробирован в ряде районов Западной и Восточной Сибири, Европейского Севера, Центральных районах России и везде показал хорошую сходимость результатов полевых испытаний образцов углеродистых и низколегированных сталей [1-5].

На стадии полевых инженерных изысканий должна определяться не агрессивность грунтов по их удельному электрическому сопротивлению (ГОСТ ИСО 9.602-2005), а скорость коррозии стали [1-4], поскольку при проектировании подземных объектов эксплуатации необходимо в первую очередь прогнозировать опасность коррозии трубных сталей в грунтах и правильно выбрать способ защиты наружной поверхности подземных трубопроводов. С этой целью в разные временные периоды, начиная с 1970 г., на Павловской коррозионной станции в районе г. Тюмени на заболоченной территории в торф и песок были заложены для испытаний стальные трубчатые образцы-свидетели. Результаты определения коррозионной агрессивности грунтов относительно образцов-свидетелей, извлеченных летом 2011 г., по методу потери массы и глубине проник-

Таблица 1

Период испытаний	Продолжительность испытаний, число лет	Характеристика грунта				Скорость коррозии, мм/год		Коррозионная агрессивность грунтов		Требуемая изоляция трубопровода, тип	
		Влажность, %	Минерализация, % /100 г грунта	pH	Температура, °С	по потере массы	по глубине проницаемости	по потере массы	по глубине проницаемости	по потере массы	по глубине проницаемости
Торф											
12.08.70 г. – 30.08.71 г.	1,05	88,7-88,4	0,056	3,7-3,5	11,0-8,5	0,0123	0,152	-	Средняя	-	Усиленная
17.09.70 г. – 01.10.74 г.	2,84	89,7-88,9	0,11	3,8-4,0	10,0-9,0	0,0127	0,060	Низкая	-	Низкая	Усиленная
11.08.81 г. – 11.06.84 г.	4,04	94,7-92,9	0,12	3,6-3,9	9,0-7,3	0,0140	0,067	Низкая	-	Низкая	-
14.11.73 г. – 31.08.79 г.	5,80	96,4-94,0	0,10	3,5-3,3	3,0-5,8	0,0160	0,031	Низкая	-	Низкая	-
07.10.73 г. – 29.06.11 г.	38,50	93,7-90,9	0,064	3,9-4,0	4,0-7,0	0,0310	0,078	Низкая	-	Низкая	-
Песок											
12.08.70 г. – 30.08.71 г.	1,05	26,8-24,6	0,021	6,2-5,8	10,0-9,5	0,012	0,165	-	Средняя	-	Усиленная
11.08.81 г. – 11.06.84 г.	2,84	27,2-26,9	0,014	5,8-6,1	6,8-3,9	0,011	0,120	-	Средняя	-	Усиленная
17.09.70 г. – 01.10.74 г.	4,04	30,1-31,2	0,020	5,2-5,7	8,3-8,5	0,011	0,040	Низкая	-	Низкая	-
14.11.73 г. – 31.08.79 г.	5,80	19,1-23,6	0,026	5,5-5,3	3,7-6,8	0,012	0,090	Низкая	-	Низкая	-
08.10.73 г. – 07.07.11 г.	38,50	19,1-20,3	0,021	5,6-5,1	7,0-7,8	0,01	0,047	Низкая	-	Низкая	-

новения (проницаемости) коррозии в сталь в рассматриваемых грунтово-климатических условиях приведены в табл. 1. Скорость коррозии углеродистых сталей по потере массы с единицы поверхности трубчатых образцов-свидетелей за время экспозиции рассчитывали по методике [1]. Глубину питтингов измеряли индикаторным глубиномером Н.Д. Томашова. Из табл. 1 следует, что по величине скорости общей коррозии наиболее агрессивным из исследованных грунтов является кислый торф, наименее агрессивным – слабокислый и нейтральный песок.

По максимальной коррозионной проницаемости наиболее агрессивным грунтом является слабокислый и нейтральный песок (за 1,05, 2,84 и 5,8 года), по результатам многолетних испытаний (за 38,5 лет) – кислый торф. Наблюдаемое уменьшение скорости коррозии трубной стали при переходе от песка к торфу соответствует теоретическим положениям, развитым в работах по исследованию электрохимического механизма грунтовой коррозии металлов (Н.Д. Томашов, Ю.Н. Михайловский, 1956 г.). Согласно данным положениям ограниченный транспорт кислорода в торфе из-за его высокой влажности сильно тормозит катодный процесс кислородной деполяризации. По этой причине скорость коррозии стали во влажном грунте (торфе, песке) определяется скоростью транспорта кислорода к металлической поверхности. В песчаном грунте вследствие относительно большой скорости транспорта кислорода торможение коррозионного процесса определяется не только диффузионными явлениями, но и кинетикой катодных и анодных электрохимических реакций при наличии накапливающейся в пустотах агрессивной углекислоты, в присутствии которой коррозия стали в торфе имеет преимущественно неравномерный характер (рис. 1, а). В этом случае скорость и характер коррозии стали в песке будут в большей степени зависеть от влажности и длительности сохранения в нем влаги.

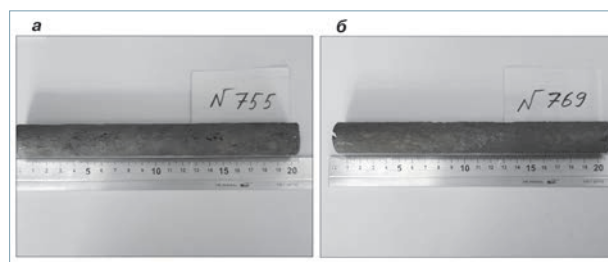


Рис. 1. Характер коррозии образцов трубной стали (Ст 10) №755 (а) и 769 (б) в торфе на глубине 0,7 м на Павловском болоте (район г. Тюмени) после 38,5 лет испытаний

По потере массы металла с единицы поверхности не всегда можно оценить с достаточной достоверностью срок службы низколегированного трубопровода или другой металлической конструкции. При определении агрессивности грунтов важно знать не только среднюю скорость коррозии по потере массы образцов-свидетелей, но и глубину максимальной проницаемости, так как в итоге сооружение выходит из строя не только из-за общей коррозии, но и вследствие сквозного проржавления металла на небольшой поверхности. Только величина местной коррозии, концентрация и глубина ее проницаемости достоверно отражают коррозионные свойства грунтов и дают возможность обоснованно прогнозировать скорость коррозии подземных трубопроводов.

Питтинговый характер коррозии трубной стали в торфе может служить подтверждением участия свободной углекислоты, накапливающейся в мешках и пустотах торфа, в процессе торфообразования и коррозии. Это видно по характеру коррозии наружной поверхности трубчатых образцов-свидетелей после длительных (38,5 лет) испытаний на глубине 0,7 м. На отдельных участках образцов за указанный период питтинговые поражения имеют сквозной характер, глубина которых достигает 2-3 мм (см. рис. 1, а). На других образцах

(см. рис. 1, б) коррозия представлена в виде пятен и язв. Во влажном мелкодисперсном песке коррозия трубной стали распределяется равномерно и пятнами (рис. 2).

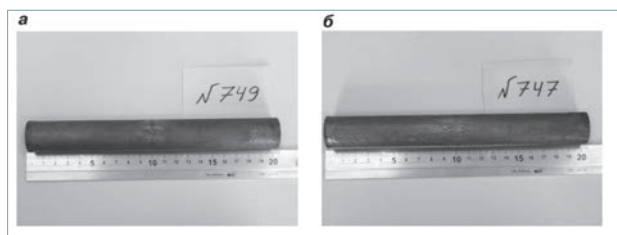


Рис. 2. Характер коррозии образцов трубной стали (Ст 10) №749 (а) и 747 (б) в мелкозернистом песке на глубине 0,7 м на Павловском болоте (район г. Тюмени) после 38,5 лет испытаний

За период 1,05–38,5 лет в торфе (см. табл. 1) на глубине 0,7 м скорость коррозии образцов трубных сталей изменялась по потере массы от 0,0123 до 0,0310 мм/год, по глубине максимальной коррозионной проницаемости – от 0,152 до 0,078 мм/год, т.е. не более 0,1 мм/год при продолжительности испытаний более года. При этой же продолжительности испытаний в песке скорость коррозии образцов трубных сталей изменялась по потере массы от 0,012 до 0,01 мм/год, по глубине максимальной коррозионной проницаемости – от 0,165 до 0,047 мм/год, т.е. не более 0,05 мм/год при продолжительности испытаний более двух лет. Наблюдается общее снижение скорости коррозии как в торфе, так и в песке. Скорость коррозии не превышает 0,1 мм/год, что свойственно коррозионно-стойким сталям.

Результаты химических анализов грунтов показали, что низкая засоленность торфяных массивов и минеральных грунтов территории Тюменского района (табл. 2) не изменяет общий характер коррозионных процессов, происходящих на поверхности трубных сталей в рассматриваемых грунтах и не стимулирует коррозию во времени. Аналогичные полевые испытания были выполнены в США (М. Romanoff, 1958 г.). На основании этих испытаний выяснены некоторые закономерности процессов подземной коррозии и установлено, что скорость коррозии углеродистых и низколегированных сталей мало зависит от состава металла, а определяется главным образом характером и условиями среды.

Развитие коррозионных процессов стали в болотно-торфяной среде можно разделить на четыре стадии [3].

1. Начальная стадия характеризуется разрушением в кислой среде имеющейся на поверхности металла окисной пленки, поэтому скорость коррозии резко возрастает.

2. После растворения окисной пленки коррозионному разрушению подвергается металл. В начальный момент (2–3 года) после заложения стали в водонасыщенный грунт (торф, песок) из-за его рыхлости и повышенной

проницаемости для воздуха наиболее эффективно протекают коррозионные процессы с кислородной деполяризацией по реакциям



Скорость общей коррозии при этом максимальна. Коррозия преимущественно равномерная или пятнами.

3. После первого года испытаний скорость коррозии снижается. В этот период диффузия кислорода в толщу грунтов резко тормозится, особенно в торфе, в результате уплотнения грунтов засыпки и большой влажности минеральных грунтов на границе с торфом.

В толще торфа из-за затруднения газообмена между ним и атмосферным воздухом накапливается значительное количество диоксида углерода, а кислород расходуется на процессы окисления. В итоге в торфе начинает преобладать восстановительная атмосфера, в условиях которой процессы протекают преимущественно с водородной деполяризацией по реакции



или с нейтральными молекулами органических соединений, например, гумусовыми кислотами, по реакциям



где R – радикал или молекула органических соединений.

Однако материальный эффект от процессов коррозии, протекающих с водородной деполяризацией, значительно меньше, чем в начальный период испытаний, когда рыхлость грунтов облегчает их проницаемость для воздуха, а коррозионные процессы протекают преимущественно с кислородной деполяризацией. Характер коррозии представляет собой пятна, точки, в ряде случаев питтинги.

4. Конечная стадия – стационарный режим коррозии, при котором коррозионные процессы протекают преимущественно с постоянной скоростью. Коррозия в торфе имеет вид питтинга, сквозного питтинга, пятен или носит равномерный характер, а в водонасыщенном минеральном грунте – пятен и неглубоких локальных образований (коррозионные точки, мелкие сквозные язвы).

Питтинговую коррозию следует связывать с действием углекислоты, скапливающейся в глубинах торфяной залежи в результате уплотнения, разложения насыпного торфа и разрушения защитной окисной пленки на металле. Отло-

Таблица 2

рН	Содержание ионов, %/100 г сухого грунта (мг экв)						Минерализация, % / 100 г сухого грунта	Дата отбора пробы
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>		
Песок								
5,58	0,014 (0,23)	0,002 (0,05)	0,004 (0,09)	0	0	0,007 (0,32)	0,021	08.10.73 г.
5,17	0,004 (0,07)	0,003 (0,08)	0,004 (0,07)	0,001 (0,03)	0,001 (0,05)	0,004 (0,015)	0,020	07.07.11 г.
Торф								
3,88	0,007 (0,17)	0,014 (0,41)	0,004 (0,08)	0,002 (0,10)	0,001 (0,24)	0,006 (0,26)	0,032	07.10.73 г.
4,13	0,029 (0,48)	0,49 (1,38)	0,031 (0,065)	0,005 (0,23)	0,004 (0,37)	0,12 (1,32)	0,23	29.06.11 г.

Примечания. 1. Грунты были незасоленными. 2. Пробы отбирались с поста №22.

жения продуктов коррозии при этом получают рыхлыми и легко удаляются водой. Питтинговый характер коррозии усиливается в присутствии кислорода, когда при понижении уровня грунтовых вод в летнее время, особенно в засушливые периоды, увеличивается газообмен между торфом, минеральным грунтом и атмосферой.

### Выводы

1. Проницаемость для воздуха растительных грунтов (торфа), особенно верхних слоев (до 0,7 м), минеральных грунтов (до 1,0–1,5 м) значительно влияет на скорость коррозии стали в начальный (до 2–3 лет) период, когда рыхлость грунтов облегчается их аэрируемостью. В этих условиях коррозионные процессы протекают преимущественно с кислородной деполяризацией.

2. При уплотнении грунтов засыпки проницаемость их для воздуха с глубиной со временем резко снижается. В этих условиях, особенно в зоне постоянного уровня грунтовых вод (ниже 0,5–0,7 м), коррозионные процессы в болотно-торфяной среде протекают преимущественно с водородной деполяризацией. Вероятность возникновения и эффективность работы макрокоррозионных пар и локальной коррозии минимальны.

3. Оптимальной для длительной эксплуатации трубопроводов в условиях слабоминерализованных болотных массивов является их подземная прокладка на глубине ниже уровня грунтовых вод не менее 0,7 м.

4. Прокладка трубопроводов на поверхности болота не рекомендуется из-за эффективной работы макрокоррозионных пар дифференциальной аэрации, особенно в плохо сформированной насыпи, поскольку неравномерно аэрируемые участки насыпи над поверхностью трубопровода при прочих равных условиях становятся наиболее опасными с точки зрения возникновения коррозии.

5. В грунтах средней и низкой коррозионной агрессивности для защиты от коррозии промышленных трубопроводов рекомендуется применять защитные полимерные покрытия усиленного типа на основе экструдированного полиэтилена, нанесенного в заводских условиях.

6. В процессе эксплуатации промышленных трубопроводов надежность их работы в основном зависит от агрессивности транспортируемой среды. Однако при выделении главной причины – внутренней коррозии – необходимо учитывать факторы, вызывающие и стимулирующие ее. Окончательный выбор средств защиты промышленных трубопроводов должен быть индивидуальным настолько, насколько индивидуальна среда, вызывающая коррозию внутренней поверхности каждого промышленного трубопровода.

### Список литературы

1. Томашов Н.Д., Красноярский В.В., Михайловский Ю.Н. Электрохимическая теория подземной коррозии металлов // Тр. ин-та / Ин-т физической химии / Вып. VIII. Исследования по коррозии металлов. – Т. 6. Коррозия и защита металлов в природных условиях. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 190–216.
2. Марченко А.Ф. Почвенная коррозия трубопроводной стали и магистральных трубопроводов // Строительство трубопроводов. – 1995. – № 1. – С. 29–34.
3. Мингалев Э.П. Коррозия подземных промышленных трубопроводов в торфяных грунтах Западной Сибири. – О.И. Сер. Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. – М.: ВНИИОЭНГ, 1976. – 28 с.
4. Полозов А.Е., Абрамов А.П., Санжаровская С.Ф. Коррозия и защита газовых технологических систем в условиях Европейского Севера. – О.И. Сер. Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. – М.: ВНИИОЭНГ, 1979. – 55 с.
5. Гайданенко Е.И., Константинов И.П. Коррозия газопроводных труб в Якутии // Строительство трубопроводов. – 1989. – С. 40–41.

### References

1. Tomashov N.D., Krasnoyarskiy V.V., Mikhaylovskiy Yu.N., *Proceedings of Institute of Physical Chemistry, Issue VIII, Issledovaniya po korrozii metallov (Studies on metal corrosion)*, V. 6, Korroziya i zashchita metallov v prirodnykh usloviyakh (Corrosion and Protection of metals in natural conditions), 1960, pp. 190–216.
2. Marchenko A.F., *Stroitel'stvo truboprovodov*, 1995, no. 1, pp. 29–31.
3. Mingalev E.P., *Obzornaya informatsiya. Seriya Korroziya i zashchita v neftegazovoy promyshlennosti (Overview. Series of Corrosion and Protection in Oil and Gas Industry)*, Moscow: Publ. of VNIIOENG, 1976, 28 p.
4. Polozov A.E., Abramov A.P., Sanzharovskaya S.F., *Obzornaya informatsiya. Seriya Korroziya i zashchita v neftegazovoy promyshlennosti (Overview. Series of Corrosion and Protection in Oil and Gas Industry)*, Moscow: Publ. of VNIIOENG, 1979, 55 p.
5. Gaydanenko E.I., Konstantinov I.P., *Stroitel'stvo truboprovodov*, 1989, pp. 40–41.

## Дорогие коллеги!

### Поздравляем вас с 50-летием ОАО «Гипротюменнефтегаз»!

Рождение вашего института связано с величайшим событием второй половины XX века – освоением Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Гипротюменнефтегаз внес решающий вклад в разработку основных инженерных решений, которые легли в основу концепции обустройства нефтяных и газовых месторождений Тюменской области. Нарастивание добычи нефти и газа в регионе сопровождалось ростом института как по объему проектно-изыскательских работ, так и по совершенствованию процесса проектирования. Когда пришло время IT-революции, Гипротюменнефтегаз стал лидером в области новых информационных технологий, одним из первых отклавшись от традиционного кульмана.

Сейчас ОАО «Гипротюменнефтегаз» – уверенно развивающаяся инжиниринговая компания, с которой редакцию журнала «Нефтяное хозяйство» связывают длительные и крепкие отношения. Специалисты института являются постоянными авторами нашего издания, активными участниками конференции по информационным технологиям, ежегодно проводимой журналом. Мы высоко ценим наши партнерские отношения и надеемся на их плодотворное продолжение.

**От всей души желаем институту дальнейшего развития, освоения новых районов, технологий и направлений проектирования! Пусть все ваши стратегические планы будут выполнены, так же как и сокровенные желания сотрудников и их близких!**

Редакционная коллегия и коллектив редакции  
журнала «Нефтяное хозяйство»

