

М. Г. Салихов

## О КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ИСКУССТВЕННО ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ

В последние годы широкое распространение в гражданском и гидротехническом строительстве начали получать химические методы мелиорации промерзающих грунтов благодаря их эффективности и дешевизне [4, 5]. Сущность его сводится к сохранению пластичного состояния грунтов путем повышения концентрации порового раствора химическими солями при отрицательных температурах.

Проведенные нами исследования показывают, что этот метод может быть успешно использован при ведении земляных работ в автодорожном строительстве [7].

Введение в грунт солей может привести к повышению их агрессивных свойств по отношению к металлическим элементам инженерных сооружений и дорожно-строительной техники, к дорожным покрытиям и т.д. Однако в литературе отсутствует сколько-нибудь полное исследование агрессивных свойств искусственно засоленных грунтов. Поэтому нами проводились исследования по изучению коррозионной активности искусственно засоленных грунтов по отношению к углеродистым сталям в лабораторных и полевых условиях.

Степень коррозии оценивалась посредством измерения потери в весе по несколько видоизмененной методике Г.В. Акимова [1, 2]. Стержни из ст. 3 длиной 60 мм и диаметром 10 мм, обработанные на токарном станке и отшлифованные до номера 0, после обезжиривания и взвешивания на аналитических весах, закладывались в пылеватые суглинки, засоленные  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{NaCl}$  и уплотненные до плотности  $\delta = 1,800 \text{ к/см}^3$ . Первая группа стержней закладывалась в грунты, засоленные  $\text{CaCl}_2$  до концентрации порового раствора 0, 5, 10, 15, 20 и 24%; вторая группы — в засоленные  $\text{NaCl}$  грунты с поровым раствором 20 и 23%. Влажность проб грунтов была 13—14% и поддерживалась постоянной в течение всего опыта. В лабораторных опытах

температура поддерживалась в пределах 18—20°С. По истечении определенного времени часть стержней вынималась, промывалась водой и для снятия продуктов коррозии опускалась на 4—5 часов в 50%-й раствор соляной кислоты с добавкой уротропина в количестве 0,1% от веса раствора. Очищенные стержни промывались водой, обезжиривались ацетоном и взвешивались. Взвешивание стержней производилось через 0, 15, 30, 60, 91 и 120 суток. Скорость коррозии определялась по формуле

$$k = \frac{1000 (P_1 - P_2)}{S T} \left[ \frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \text{сут}} \right] \quad (1)$$

где  $P_1$  — первоначальный вес стержня, г;  $P_2$  — вес стержня после опыта, г;  $S$  — площадь контакта стержня с грунтом,  $\text{см}^2$ ;  $T$  — продолжительность опыта, сутки.

Результаты лабораторных опытов сведены в табл. 1 и 2, графическое изображение показано на рис. 1 и 2.

Таблица 1

Скорость коррозии ст. 3 в искусственно засоленных

$\text{CaCl}_2$  грунтах с течением времени,  $\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \text{сут}}$

Время, сут	Концентрация порового раствора, %					
	0	4,54	8,59	12,66	15,55	18,29
15	0,492	0,430	0,454	0,374	0,274	0,258
30	0,266	0,270	0,260	0,247	0,224	0,218
60	0,170	0,184	0,138	0,229	0,120	0,186
91	0,128	0,162	0,108	0,303	0,100	0,092
120	0,096	0,298	0,118	0,321	0,214	0,330

Полевые опыты проводились по этой же методике на опытных участках в карьере близ пос. Негорелое. Грунты были представлены супесями легкими.

В опытные участки (№ 1, 2, 3, 7, 8) размером  $1 \times 2 \text{ м}^2$  было внесено различное количество сухой соли  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{NaCl}$ . Предварительно подготовленные стержни закладывались 22 ноября, через 37 дней после введения солей. Опыты продолжались

Таблица 2

Скорость коррозии ст. 3 в искусственно засоленных

NaCl грунтах с течением времени,  $\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \text{сут}}$ 

Время, сут	Концентрация порового раствора, %	
	15,87	17,40
15	0,574	0,422
30	0,298	0,304
60	0,264	0,190
91	0,276	0,208
120	0,216	0,174

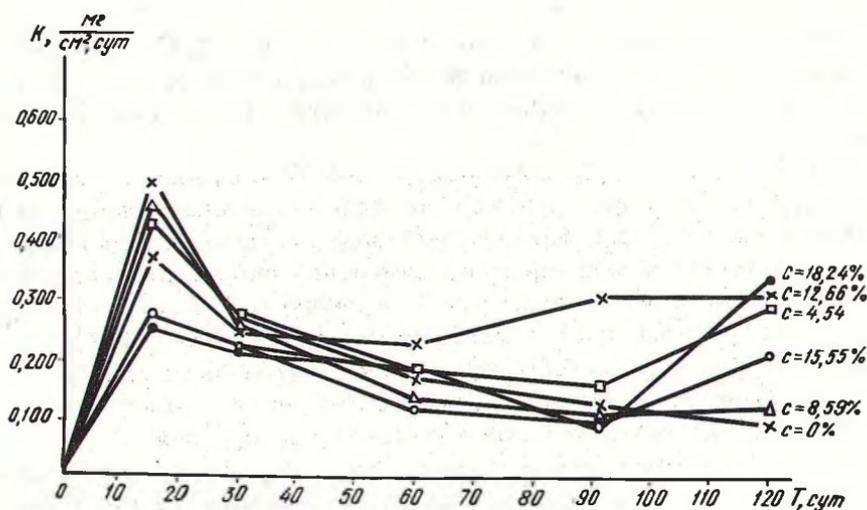


Рис. 1. Скорость коррозии ст. 3 в искусственно засоленных грунтах с течением времени.

до 13 апреля, т.е. 142 сут. Объемный вес грунтов в начале опытов равнялся  $1,69 \text{ г/см}^3$ , влажность грунта на поверхности колебалась от 8,80% до 41,3%. Концентрация порового раствора в верхнем слое опытных участков изменялась на участке №2 от 5,521% до 0,946%, на участке №3 от 11,749% до 0,575%, на участке №7 от 3,500% до 0,404%, на участке №8 от 5,251% до 0,136%. Зима была неустойчивой, с частыми оттепелями. Тем-

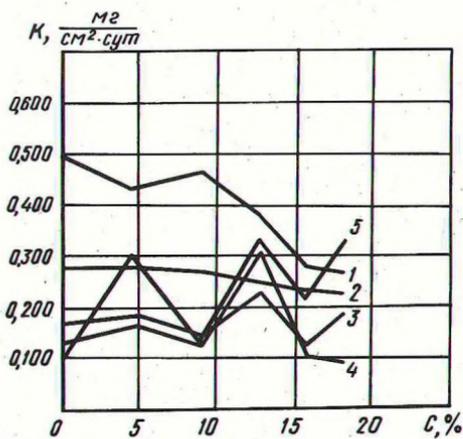


Рис. 2. Скорость коррозии ст. 3 в искусственно засоленных грунтах в зависимости от концентрации порового раствора: 1— через 15 суток; 2— через 30 суток; 3— через 60 суток; 4— через 91 сутки; 5— через 120 суток.

пература на поверхности грунта колебалась от  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $-16^{\circ}\text{C}$ . По окончании опытов стержни вынимались, освобождались от коррозии и взвешивались. Результаты этих опытов приведены в табл. 3.

Как видно из рис. 1, изменение скорости коррозии ст. 3 в искусственно засоленных грунтах с течением времени имеет вид кривой с максимумом. При анализе опытных данных выяснилось, что во всех интервалах времени изменение скорости коррозии ст. 3 в зависимости от концентрации порового раствора грунтов также имеют вид кривой с максимумом (рис. 2). Однако при натурном обследовании стержней после опытов было видно, что с увеличением концентрации порового раствора в развитии коррозии ст. 3 увеличивается доля питтинговой коррозии.

Рассмотрим механизм коррозии металлов в грунтах. Разрушение металлов в грунтах относится к электрохимической коррозии, поскольку оно идет за счет электрических потенциалов, работающих в среде электролита. Она принадлежит к наиболее сложным видам, так как зависит от множества непостоянных факторов. К таким факторам относятся: 1) структура грунта и его способность пропускать воду и воздух; 2) влажность и температура грунта; 3) состав и концентрация солей, присутствующих в грунте и грунтовых водах; 4) электропроводность грунта.

Стали обычно покрыты оксидной пленкой. После помещения в грунт на поверхности стали образуется некоторое число анодных участков, соответствующих нарушениям сплошности оксидной пленки. Анодные участки растут. Одновременно идут катодные процессы — восстановление кислорода пленки на ос-

Таблица 3

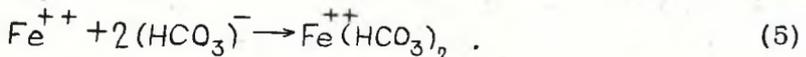
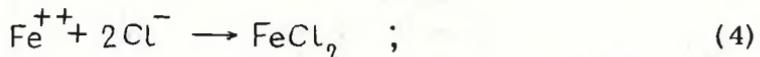
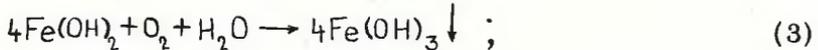
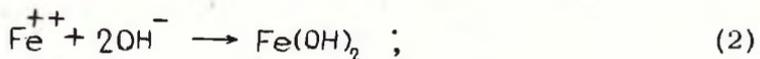
Результаты определения коррозионной активности  
грунтов на опытных участках

№ опытных участков	Название и количество соли на $1 \text{ м}^2$ , кг	Вес стержня до опыта, г	Вес стержня после опыта, г	Потеря, % к общему весу	Скорость коррозии,
					$\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \text{ сут}}$
1	без соли	35,4450	36,1670	0,78	0,192
2	$\text{NaCl}$ , 1,8	35,2760	34,9120	1,03	0,251
3	$\text{CaCl}_2$ , 0,9	35,2670	35,0610	0,58	0,142
7	$\text{CaCl}_2$ , 0,5	35,4210	35,1480	0,77	0,188
8	$\text{CaCl}_2$ , 2,5	35,3690	35,0660	0,86	0,209

тальные части поверхности. Чем лучше грунт аэрируется, тем быстрее происходит восстановление кислорода и тем выше скорость коррозии. Через некоторое время может происходить вторичное распределение коррозии за счет восстановления кислорода в продуктах коррозии, поэтому скорость коррозии во времени развивается неравномерно. При детальном рассмотрении коррозионного процесса необходимо принимать во внимание отдельные реакции в анодной и катодной зонах.

Ионы закисного железа, переходящие в раствор от анодных участков, связываются с ионами  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Поскольку образующиеся соли растворимы, они диффундируют от металла в грунт. Соединяясь с растворенным кислородом, закисные ионы железа переходят в окислы, малорастворимые соединения и выпадают в виде осадков.

Реакции в анодной зоне идут по схеме:



Таким образом возникают бугорки ржавчины около анодных участков. Отрицательно заряженные ионы, частично освобожденные при окислении и осаждении ионов  $\text{Fe}$ , получают возмож-

ность диффундировать обратно к корродирующей поверхности, где они снова связывают переходящие от анодной зоны в раствор ионы закисного железа, т.е. процесс может повториться.

Зона осаждения ионов гидрата окиси железа зависит от скорости, с которой ионы закисного железа возникают на аноде, скорости диффузии кислорода через грунт, концентрации солей и ионов водорода в грунте. Если доступ кислорода ничем не затруднен и концентрация ионов гидроксила достаточно высока,  $Fe(OH)_3$  осаждается у самих анодных участков, т.е. в порах и трещинах окисной пленки. При этом наблюдается быстрое самоторможение процесса коррозии. При высокой концентрации солей и меньшем доступе кислорода соли закиси железа могут диффундировать на значительные расстояния от поверхности металла и образовывать относительно большие бугорки ржавчины.

Питтинг под бугорком будет углубляться до тех пор, пока мембрана, образуемая при осаждении  $Fe(OH)_3$ , не станет столь плотной, что не будет пропускать ни кислорода, ни солей железа. В условиях недостатка кислорода и высокой концентрации солей закисные соли железа хорошо растворимы. В этом случае скорость коррозии не ограничивается реакцией на аноде, а зависит еще от скорости деполяризации катодной площади. Если при этом возможна водородная деполяризация, т.е. выделение водорода на катодной поверхности в виде пузырьков газа, то скорость коррозии может быть очень высокой. Схема коррозии при водородной деполяризации



В случае кислородной деполяризации скорость последней будет определяться скоростью притока кислорода воздуха к катодной площади, а это, в свою очередь, определяется проницаемостью грунта. Однако продукты коррозии, отлагающиеся в виде пленок или слоев на катодных участках, будут затруднять приток кислорода к катоду и процесс деполяризации. Эти пленки могут составлять из гидроокисей железа или малорастворимых карбонатов кальция и магния, которые могут концентрироваться у катодной площади под влиянием коррозионного тока. При высоких концентрациях раствора затрудняется возникновение защитных пленок, так как в этих условиях карбонаты кальция и магния оказываются легко растворимыми. Кроме того, при этом увеличивается электропроводность раствора, поэтому сила коррозионного тока возрастает, что также способствует повышению скорости коррозии. Однако при увеличении concentra-

ции порового раствора растворимость кислорода падает, скорость деполяризации понижается и это приводит к снижению скорости коррозии. По достижении некоторого значения концентрации порового раствора можно ожидать, что недостаток кислорода может сказываться достаточно сильно. Этому пределу в нашем случае соответствует концентрация выше 4,54%.

В пробах грунта с концентрацией порового раствора 4,54% и выше после истечения 90 суток наблюдается резкое усиление процесса коррозии (рис. 1), что легко объяснимо. В условиях значительных концентраций и прекращения доступа кислорода к корродирующей поверхности начинается процесс водородной деполяризации по схеме (6), что приводит к повышению потенциала катода, т.е. к усилению коррозионного потока.

Существующими нормами [3] допускается укладывать в насыпи грунты, содержащие хлоридные соли не более 8% от веса скелета грунта. При химической мелиорации требуется меньшее количество соли. Так, для создания равновесной концентрации, равной 24%, во всем объеме 1 м<sup>3</sup> грунта влажностью 25% и объемным весом 2,0 г/см<sup>3</sup> требуется соли CaCl<sub>2</sub> 126 кг, или около 8% от веса скелета грунта. Практически для этой цели потребуется значительно меньше соли, поскольку температура грунта с глубиной быстро повышается, а следовательно, требуемая равновесная концентрация соответственно уменьшается. К тому же по исследованиям многих авторов [6] при оттаивании грунтов происходит активное вымывание соли из грунтов.

По предложенной Г.В. Акимовым шкале оценки скорости коррозии металлов [1], во всех исследованных пробах грунта образцы ст. 3 корродировали в более удовлетворительных пределах, чем по условию шкалы "удовлетворительно устойчив", т.е. ниже пределов

$$0,1 - 1,0 \frac{\text{г}}{\text{м}^2 \text{ ч}}, \text{ или } 0,240 - 2,400 \frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \text{ сут}} .$$

Итак, использование таких химических противоморозных добавок в промерзающие грунты, как CaCl<sub>2</sub> и NaCl, с точки зрения их коррозионной активности по отношению к углеродистым сталям, по нашему мнению, не представляет дополнительной опасности. Однако требуются дальнейшие исследования их влияния на металлические элементы при действии постоянного тока (в случае появления блуждающих токов), при одновременном действии нагрузок и электролитов, а также влияния их на автодорожные покрытия и т.д.

## Л и т е р а т у р а

1. Акимов Г.В. Теория и методы исследования коррозии металлов, М.—Л., 1945.
2. Овчаров В.И. Применение бетона с добавками хлористых солей и ингибиторов при устройстве покрытий дорог, полов и других сооружений в зимнее время. М., 1962.
3. Технические указания по проектированию лесозаготовительных предприятий Гипролестранс. Л., 1964.
4. Далматов Б.И., Ласточкин В.С. Искусственное засоление грунтов в строительстве, М., 1966.
5. Кроник Я.А. Противопучинное засоление суглинков при зимнем возведении экрана плотины Вилюйской ГЭС.— Экспресс-информация ОЭС. Серия "Строительство гидроэлектростанций", № 236, 1968.
6. Кроник Я.А., Ухов С.Д., Цытович Н.А. Искусственное засоление грунтов для борьбы с морозным пучением. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1969, № 1.
7. Салихов М.Г., Доронин Л.Ф. Исследование некоторых физико-механических свойств искусственно засоленных грунтов в особо суровых климатических условиях. — Мат. Всесоюз. научн. конференции по проектированию, строительству и эксплуатации лесовозных дорог. Минск, 1972.