

УДК 620.197.3

ВОДНЫЙ ЭКСТРАКТ ВЬЮНКА ПОЛЕВОГО (*CONVOLVULUS ARVENSIS* L.) – ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ ИНГИБИТОР КОРРОЗИИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В 1,0 МОЛЬ/Л HCl

Сейлова Т.Б., Асанова Д.Ж., Серикқалиева А.А.

магистранты 2 курса, Западно-Казахстанский университет им.
М.Утемисова, г.Уральск, Казахстан

Научный руководитель: кандидат химических наук, старший
преподаватель Акатьев Николай Владимирович

*В настоящей статье с применением гравиметрических и электрохимических методов исследованы ингибирующие свойства водного экстракта вьюнка полевого (*Convolvulus arvensis* L.) в отношении углеродистой стали СТЗСП2-ГП2 в растворе соляной кислоты концентрацией 1,0 моль/л. С использованием расчётно-графических методов и уравнения Аррениуса определены термодинамические параметры, параметры активации коррозионного процесса и адсорбции ингибитора на металлической поверхности. Установлено, что ингибирующая эффективность водного экстракта *C. arvensis* L. достигает 90,23% при концентрации 2,0 г/л, что обусловлено самопроизвольной экзотермической физиосорбцией, подчиняющейся модели Ленгмюра во всём температурном диапазоне. Электрохимические исследования показали, что экстракт действует как ингибитор смешанного типа, замедляя анодные и катодные реакции. Повышение концентрации ингибитора и температуры среды способствует росту защитного эффекта за счёт увеличения диффузии фитокомпонентов к поверхности металла. Полученные электрохимические данные хорошо согласуются с результатами гравиметрических измерений.*

Ключевые слова: *Convolvulus arvensis* L.; коррозия; углеродистая сталь; защита металлов; ингибиторы коррозии; растительные экстракты; природные ингибиторы.

Введение

Защита металлических конструкций от коррозионного разрушения в агрессивных средах – важнейшая задача современной промышленности [1]. Коррозия металлов протекает как самопроизвольный процесс ($\Delta G < 0$) поскольку в присутствие химически активных компонентов (кислород, вода, кислоты и пр.) металлу непосредственно в виде свободного металла находиться термодинамически не выгодно. Металлом, наиболее подверженным

коррозионному разрушению, является железо – основной компонент конструкционных сталей и сплавов [3].

Современные органические ингибиторы, несмотря на свою довольно высокую эффективность, имеют ряд существенных недостатков, среди которых токсичность, повышенные требования безопасности к условиям хранения и эксплуатации, сложность синтеза отдельных компонентов, и как следствие, довольно высокая стоимость. Поэтому разработка экологически чистых, безопасных и доступных ингибиторов для защиты металлоконструкций и оборудования является первостепенной задачей для промышленных производств [4]. В течение последних десятилетий большое внимание уделяется разработке т.н. «зелёных» ингибиторов, и наиболее перспективными объектами исследований в этом направлении являются растительные экстракты [5]. Растения являются богатыми источниками биологически активных соединений, которые, помимо значительной физиологической активности, могут обладать и ингибирующими свойствами [6]. Ингибиторы коррозии на основе природных источников имеют ряд очевидных преимуществ, таких как доступность, возобновляемость, экологическая безопасность и низкая стоимость [7].

Вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.) обильно произрастает на территории Западно-Казахстанской области и характеризуется своей высокой адаптивностью к различным условиям окружающей среды. Его можно встретить повсеместно в огородах, садах, полях и пастбищах. С недавнего времени растения этого семейства привлекают к себе внимание в сфере разработки экологически чистых ингибиторов коррозии. Так с применением экстрактов *C. arvensis* L. получены наночастицы оксида цинка обладающие ингибирующими свойствами в 1,0 моль/л HCl [8], а экстракты *C. microphyllus* L. оказались эффективными ингибиторами коррозии низкоуглеродистой стали в 0,5 моль/л растворе серной кислоты [9].

В связи с этим целью настоящей работы является изучение антикоррозионных свойств водного экстракта *C. arvensis* L. по отношению к углеродистой стали в 1,0 моль/л растворе соляной кислоты.

Материалы и методы исследования

Стальные пластинки. Испытания проводились на пластинах углеродистой стали марки СТЗСП2-ГП2 (ГОСТ 535-2005). Химический состав (масс. %): С – 0.22, Mn – 0.65, Si – 0.3, P – 0.04, S – 0.05, Cr – 0.3, Ni – 0.3, Cu – 0.3, N – 0.01, As – 0.08, остальное – Fe.

Получение экстракта. 10,0 грамм воздушно сухого и измельчённого растительного материала помещали в колбу Эрленмейера на 250 мл и экстрагировали 3 раза по 100 мл в течение 6 часов бидистиллированной водой при $60^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Полученные экстракты объединяли и упаривали. Твердый

остаток высушивали до постоянной массы и использовали для проведения антикоррозионных испытаний.

Проведение коррозионных испытаний.

Метод потери массы стальной пластики.

Стальные пластинки размером 40 х 30 х 4 мм последовательно обрабатывали наждачной бумагой (120-1200 меш) до блеска. Затем промывали бидистиллированной водой, спиртом, ацетоном и высушивали на воздухе. Пластинки измеряли с помощью штангенциркуля I типа (ЩЦ-1-150-0,1, класс точности 2, $\pm 0,1$ мм), взвешивали на аналитических весах OHAUS Adventurer Pro AV264C ($\pm 0,1$ мг) и помещали в химический стакан, содержащий 100 мл коррозионной среды с добавкой и без добавки ингибитора. После заданного времени экспозиции пластинки вынимали и очищали от легко отделяемых продуктов коррозии с помощью щетки с полимерной щетиной средней жесткости под струей водопроводной воды. Трудноотделяемые продукты коррозии удаляли выдерживанием пластинки при комнатной температуре в течение 10 минут в растворе соляной кислоты 1:1 содержащей уротропин 3,5 г/л. Затем пластинки промывали водой, спиртом, ацетоном, высушивали на воздухе и повторно взвешивали на аналитических весах с точностью до $\pm 0,1$ мг. Среднюю скорость коррозии v_{cp} г/м²·час определяли по потере массы стальных пластинок за время экспозиции и рассчитывали по формуле:

$$v_{cp} = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau} \quad (1)$$

где m_1 и m_2 – массы стальной пластинки до и после опыта, соответственно, г; S – площадь поверхности образца, м²; τ – время экспозиции, час.

Защитное действие ингибитора ($\eta\%$) рассчитывали по нижеследующему уравнению и выражали в процентах:

$$\eta(\%) = \frac{v_0 - v_{инг}}{v_0} \cdot 100 \quad (2)$$

где v_0 и $v_{инг}$ – скорости коррозии металла в отсутствие и в присутствии ингибитора, соответственно, г/м²·час.

Степень покрытия поверхности (θ) рассчитывали по формуле:

$$\theta = \frac{\eta(\%)}{100} \quad (3)$$

Адсорбция, термодинамика и влияние температуры.

Для описания механизма адсорбции ингибитора использовали изотермы Ленгмюра [10]:

$$\frac{C_{инг}}{\theta} = \frac{1}{K_{адс}} + C_{инг} \quad (4)$$

где θ – степень покрытия поверхности, $C_{инг}$ – концентрация ингибитора, г/л, $K_{адс}$ – константа равновесия процесса адсорбции-десорбции.

Связь между свободной энергией Гиббса и константой равновесия процесса адсорбции определяется уравнением:

$$\Delta G_{адс}^0 = -RT \ln(55.5 K_{адс}) \quad (5)$$

где $\Delta G_{адс}^0$ — свободная энергия Гиббса, кДж/моль, R - универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/моль·К), T - температура системы (К), 55,5 - молярная концентрация воды моль/л.

Энергию активации (E_a) оценивали по уравнению Аррениуса [11]:

$$\log \frac{v_2}{v_1} = \frac{E_a}{2.303R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (6)$$

где v_1 и v_2 — скорости коррозии при T_1 и T_2 соответственно.

Значения теплоты адсорбции ($Q_{адс}$) рассчитывали по формуле [9]:

$$Q_{адс} = 2.303R \left(\log \frac{\theta_2}{1-\theta_2} - \log \frac{\theta_1}{1-\theta_1} \right) \cdot \left(\frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \right) \quad (7)$$

где θ_1 и θ_2 — степень покрытия поверхности при температурах T_1 и T_2 соответственно.

Изменение энтальпии и энтропии определяли из линейной графической зависимости $\log v/T$ от $1/T$ [12].

Электрохимические исследования.

Электрохимические испытания проводили при помощи потенциостата/гальваностата PGSTAT 101. В качестве рабочего электрода применялась металлическая пластинка из исследуемого сплава с площадью рабочей поверхности 1,12 см². Электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод Ag/AgCl (3М KCl) и платиновый электрод в качестве противоиэлектрода. Измерение линейной поляризации проводилось с использованием линейной развёртки вольтамперометрии (linear sweep voltammetry, LSV) после предварительной стабилизации потенциалом разомкнутой цепи (open circuit potential, OCP). Сканирование производили в диапазоне от -0,50 до +0,50 В. Потенциал коррозии ($E_{корр}$) и плотность тока коррозии ($j_{корр}$) определяли по поляризационным кривым Тафеля.

Защитный эффект по плотности коррозионного тока ($\eta_i\%$) и по сопротивлению ($\eta_R\%$) рассчитывали по уравнениям, описанным в литературе [13].

Результаты исследования

На рисунке 1 представлены зависимости защитного эффекта водного экстракта *S. arvensis* L. от времени экспозиции при различных концентрациях ингибитора и температурах относительно углеродистой стали в растворе соляной кислоты 1,0 моль/л.

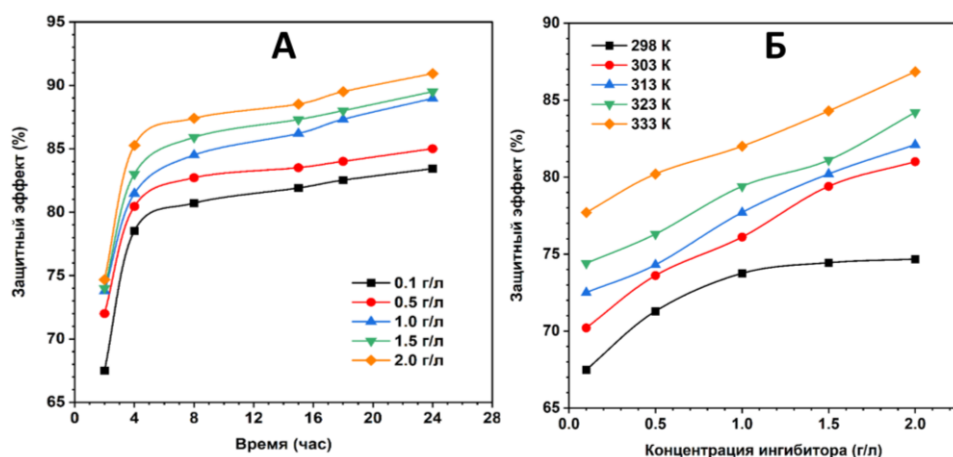


Рисунок 1. Зависимость защитного эффекта водного экстракта *C. arvensis* L. от времени экспозиции (А) и температуры за 2 часа (Б) при различных концентрациях ингибитора относительно углеродистой стали в растворе соляной кислоты 1,0 моль/л.

Из рисунка 1А следует, что увеличение концентрации ингибитора приводит к значительному возрастанию эффективности ингибирования достигающей 90,93% при концентрации ингибитора равной 2,0 г/л. Наличие индукционного периода указывает, что для образования максимально эффективного защитного слоя ингибитора на поверхности стальной пластинки при всех концентрациях требуется до 8 часов. По мере повышения температуры эффективность ингибирования при всех концентрациях возрастает (рисунок 1Б), достигая значения 86,84% при 2,0 г/л и температуре 333К. Повышение эффективности ингибирования с увеличением концентрации свидетельствует о более эффективной адсорбции фитокомпонентов экстракта [14]. Увеличение защитного эффекта с повышением температуры обусловлено соответствующим увеличением скорости их диффузии к металлической поверхности [15].

Графические зависимости $\log(v/T)$ от $1/T$ для различных концентраций водного экстракта *C. arvensis* L. за 2 часа, изотермы Ленгмюра и зависимость ΔG^0_{adc} от T для водного экстракта *C. arvensis* L. в 1,0 моль/л растворе HCl представлены на рисунке 2.

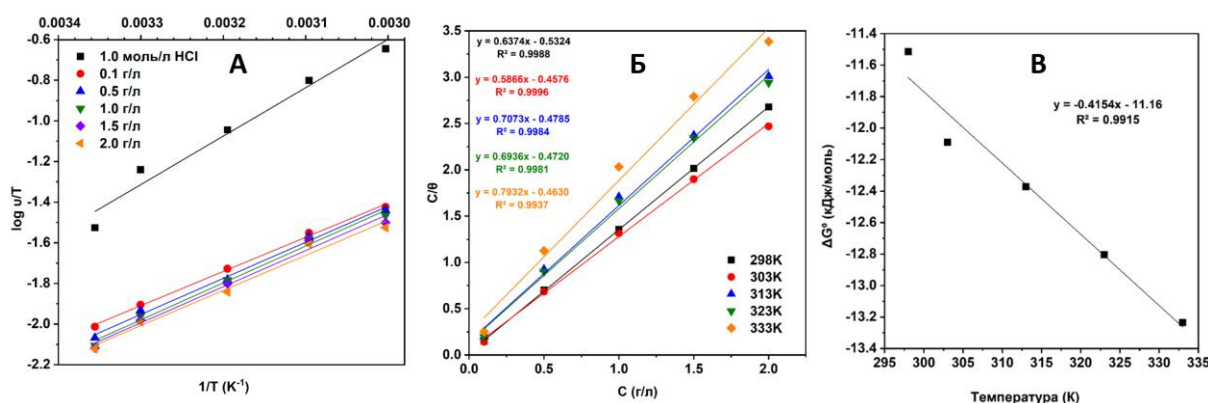


Рисунок 2. Зависимость $\log(v/T)$ от $1/T$ для различных концентраций водного экстракта *C. arvensis* L. (А), изотермы Ленгмюра (Б) и зависимость ΔG^0_{ads} от T для водного экстракта *C. arvensis* L. в 1,0 моль/л растворе HCl.

Зависимости $\log(v/T)$ от $1/T$ для всех концентраций, а также при отсутствии ингибитора, являются прямолинейными (рисунок 2А). Полученные значения параметров активации представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры активации коррозии углеродистой стали в растворе соляной кислоты 1,0 моль/л в присутствии и отсутствии водного экстракта *C. arvensis* L.

$C_{инг}$, г/л	E_a , кДж/моль	Q_{ads} , кДж/моль	$\Delta H^*_{акт}$, кДж/моль	$\Delta S^*_{акт}$, Дж/моль·К
0,0	19,92	-	-4,21	-164,81
0,1	30,73	63,70	-2,94	-155,75
0,5	36,78	68,75	-3,11	-154,60
1,0	41,08	62,19	-3,18	-153,96
1,5	41,18	65,89	-3,12	-153,80
2,0	41,30	67,57	-3,02	-153,72

Из приведенных данных следует, что увеличение концентрации ингибитора приводит к соответствующему увеличению энергии активации коррозионного процесса. Диапазон значений E_a (19,92 – 41,30 кДж/моль) не превышает порогового значения для хемосорбции в 80 кДж/моль, что указывает на физическую адсорбцию ингибитора на поверхности металлической пластинки [16]. Положительные значения Q_{ads} и отрицательные значения $\Delta H^*_{акт}$ характеризуют процесс растворения металла как экзотермический. Увеличение $\Delta H^*_{акт}$ с увеличением концентрации ингибитора указывает, что снижение скорости коррозии в основном контролируется кинетическими параметрами [17]. Отрицательные значения $\Delta S^*_{акт}$ указывают на более упорядоченное состояние системы в присутствии водного экстракта *C. arvensis* L. по

сравнению с чистой средой. Это свидетельствует, что на скорость определяющей стадии процесс образования активированного комплекса является ассоциативным [18].

Значения $R^2 > 0.99$ (рисунок 2Б) однозначно указывают на применимость модели Ленгмюра для описания процесса адсорбции водного экстракта *C. arvensis* L. на поверхности углеродистой стали [19]. На основе полученных данных, по уравнению (5) были рассчитаны значения свободной энергии Гиббса ($\Delta G^0_{адс}$) для процесса адсорбции-десорбции. Полученные результаты представлены в таблице 2.

На рисунке 2В, в соответствие с уравнением $\Delta G^0_{адс} = \Delta H^0_{адс} - T\Delta S^0_{адс}$ представлена зависимость $\Delta G^0_{адс}$ от T для процесса адсорбции. Полученные значения энтальпии ($\Delta H^0_{адс}$) и энтропии ($S^0_{адс}$) адсорбционного процесса так же приведены в таблице 2.

Таблица 2. Термодинамические параметры адсорбции водного экстракта *C. arvensis* L. на поверхности углеродистой стали в 1,0 моль/л растворе HCl при различных температурах

Т, К	Наклон	Отступ	R^2	$K_{адс}$	$\Delta G^0_{адс}$, кДж/моль	$\Delta H^0_{адс}$, кДж/моль	$\Delta S^0_{адс}$, Дж/моль·К
298	0,6374	0,5324	0,9988	1,8783	-11,51	-11,16	415,4
303	0,5866	0,4576	0,9996	2,0853	-12,09	-11,16	415,4
313	0,7073	0,4785	0,9984	2,0899	-12,37	-11,16	415,4
323	0,6936	0,4720	0,9981	2,1186	-12,80	-11,16	415,4
333	0,7932	0,4630	0,9937	2,1598	-13,25	-11,16	415,4

Отрицательные значения $\Delta G^0_{адс}$ свидетельствуют об устойчивости адсорбированного слоя на поверхности стали и самопроизвольном протекании процесса адсорбции. С повышением температуры значения свободной энергии Гиббса становятся более отрицательными, что указывает на то, что процесс адсорбции ингибитора становится более эффективным. Значения $\Delta G^0_{адс} > -20$ кДж/моль свидетельствуют о физической природе адсорбционного процесса, происходящем в результате электростатического взаимодействия между заряженными молекулами ингибитора и поверхностью металла [20]. Отрицательное значение изменения энтальпии адсорбции $\Delta H^0_{адс}$ (-11,16 кДж/моль) указывает, что адсорбция ингибитора является экзотермическим процессом и также подтверждает её физическую природу. Положительное значение $\Delta S^0_{адс}$ (415,4 Дж/моль·К) определяет повышение разупорядоченности системы на границе металл - раствор при адсорбции молекул ингибитора, что обусловлено присутствием большого количества молекул воды, десорбированных с поверхности металла вследствие их замещения молекулами ингибитора [21].

Электрохимические исследования.

Потенциал разомкнутой цепи и потенциодинамические кривые Тафеля для углеродистой стали в 1,0 моль/л HCl в отсутствие и в присутствии водного экстракта *C. arvensis* L. представлены на рисунке 3.

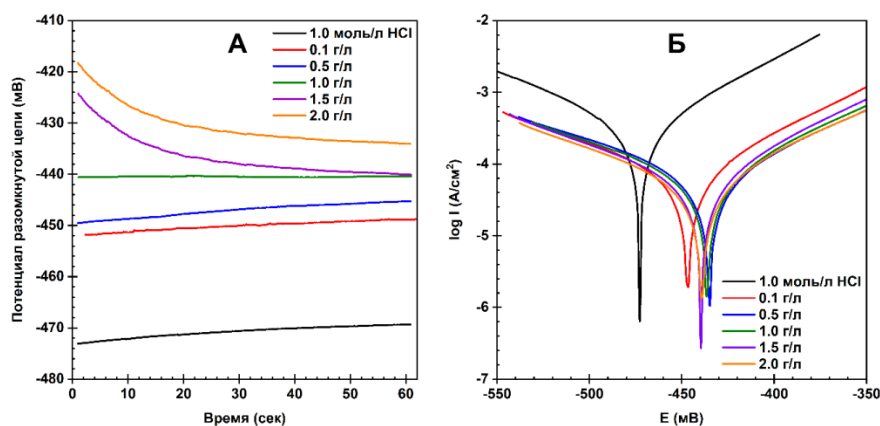


Рисунок 3. Потенциал разомкнутой цепи (А) и потенциодинамические кривые Тафеля (Б) для углеродистой стали в растворе соляной кислоты 1,0 моль/л в отсутствие и при различных концентрациях водного экстракта *C. arvensis* L. при 298 К

Электрохимические параметры коррозии углеродистой стали в растворе соляной кислоты 1,0 моль/л в присутствии и отсутствии водного экстракта *C. arvensis* L. при 298К представлены в таблице 3.

Таблица 3. Электрохимические параметры коррозии углеродистой стали в растворе соляной кислоты 1,0 моль/л в присутствии и отсутствии водного экстракта *C. arvensis* L. при 298К

$C_{\text{инг}}$, г/л	-ОСР, мВ	- $E_{\text{корр}}$, мВ	$J_{\text{корр}}$, А/см ²	η_i , %	$ b_a $, мВ/дек	$ b_c $, мВ/дек	R_p , Ω	η_R , %
0,0	476,11	472,75	$3,15 \cdot 10^{-4}$	-	71,13	91,09	60,37	-
0,1	445,36	446,81	$8,71 \cdot 10^{-5}$	72,39	76,75	113,58	300,18	79,89
0,5	444,88	435,03	$8,24 \cdot 10^{-5}$	73,88	88,68	121,26	354,85	82,99
1,0	440,44	436,28	$7,45 \cdot 10^{-5}$	76,39	81,21	113,49	362,94	83,37
1,5	439,94	439,52	$6,77 \cdot 10^{-5}$	78,55	75,13	105,56	370,34	83,70
2,0	432,90	439,11	$6,10 \cdot 10^{-5}$	80,65	81,14	98,67	436,91	86,18

Потенциал разомкнутой цепи в отсутствие ингибитора составляет -476,11 мВ. Изменение потенциала в сторону более положительных значений в присутствии ингибитора обусловлено формированием пассивирующей пленки, предотвращающей дальнейшее разрушение металла. Характер смещения катодных (b_c) и анодных (b_a) участков поляризационных кривых в присутствии

ингибитора свидетельствует, что водный экстракт *C. arvensis* L. в большей степени замедляет анодное растворение углеродистой стали, однако при этом также значительно влияет на скорость катодного выделения водорода. С увеличением концентрации ингибитора наблюдается значительное снижение коррозионного потенциала ($E_{корр}$) и плотности коррозионного тока ($J_{корр}$), а также повышение поляризационного сопротивления (R_p) с соответствующим увеличением степени защиты металла ингибитором, что является прямым следствием адсорбции компонентов экстракта на поверхности, стали. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что водный экстракт *C. arvensis* L. по механизму действия относится к ингибиторам смешанного типа, преимущественно замедляющим анодный процесс.

Выводы

В настоящей работе показано, что водный экстракт *C. arvensis* L. обладает высокой антикоррозионной эффективностью по отношению к углеродистой стали СТЗСП2-ГП2 в 1,0 моль/л растворе соляной кислоты. При концентрации ингибитора 2,0 г/л степень защиты достигает 90,93%. Формирование защитной плёнки, приводящее к созданию барьера между поверхностью металла и коррозионной средой происходит за счёт самопроизвольной, физиосорбции фитокомпонентов исследуемого экстракта подчиняющейся модели Ленгмюра. Увеличение эффективности ингибирования с повышением температуры, обусловленное увеличением скорости диффузии ингибитора, является дополнительным преимуществом, поскольку позволит использовать его в довольно агрессивных условиях эксплуатации. Таким образом, доступность и распространённость *C. arvensis* L. делает его не только дешёвым источником лекарственного сырья, но и позволяет рассматривать в качестве перспективного, высокоэффективного и экологически чистого ингибитора коррозии металлических конструкций в кислых средах в том числе и при повышенной температуре.

Список использованной литературы

1. Zakeri A., Bahmani E., Aghdam A. S. R. Plant extracts as sustainable and green corrosion inhibitors for protection of ferrous metals in corrosive media: A mini review //Corrosion Communications. – 2022. – Т. 5. – С. 25-38.
2. Groysman, A. Corrosion Monitoring // Corros. Rev. 2009. Т. 27. № 4–5. С. 205–343.
3. Sin J. R. Investigation of the corrosion and tribocorrosion behaviour of metallic biomaterials: дис. – Luleå tekniska universitet, 2015.
4. Rani B.E.A., Basu B. B. J. Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: an overview //International Journal of corrosion. – 2012. – Т. 2012. – №. 1. – С. 380217.

5. Miralrio A., Espinoza Vázquez A. Plant Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Different Metal Surfaces and Corrosive Media: A Review // *Processes*. 2020. T. 8. № 8. C. 942.
6. Abiola O. K., Otaigbe J. O. E., Kio O. J. *Gossipium hirsutum* L. extracts as green corrosion inhibitor for aluminum in NaOH solution // *Corros. Sci.* 2009. T. 51. № 8. C. 1879–1881.
7. Abiola O. K., Otaigbe J. O. E. The effects of *Phyllanthus amarus* extract on corrosion and kinetics of corrosion process of aluminum in alkaline solution // *Corros. Sci.* 2009. T. 51. № 11. C. 2790–2793.
8. Materials | Synthesis of ZnO-NPs Using a *Convolvulus arvensis* Leaf Extract and Proving Its Efficiency as an Inhibitor of Carbon Steel Corrosion, 2020, 13(4), 890.
9. Haldhar R. и др. *Convolvulus microphyllus* Extract as a Green, Effective, and Affordable Corrosion Inhibitor: Theoretical Calculations and Experimental Studies // *Coatings*. 2023. T. 13. № 5. C. 860.
10. Dagdag O. и др. Epoxy pre-polymers as new and effective materials for corrosion inhibition of carbon steel in acidic medium: Computational and experimental studies // *Sci. Rep.* 2019. T. 9. C. 11715.
11. Kumar S. и др. Experimental and Quantum Chemical Studies on Corrosion Inhibition Effect of Synthesized Organic Compounds on N80 Steel in Hydrochloric Acid // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2013. T. 52. № 39. C. 14019–14029.
12. Akinbulumo O. A., Odejobi O. J., Odekanle E. L. Thermodynamics and adsorption study of the corrosion inhibition of mild steel by *Euphorbia heterophylla* L. extract in 1.5 M HCl // *Results Mater.* 2020. T. 5. C. 100074.
13. Ferreira E. S. и др. Evaluation of the inhibitor effect of l-ascorbic acid on the corrosion of mild steel // *Mater. Chem. Phys.* 2004. T. 83. № 1. C. 129–134.
14. Ekanem U. F. и др. Inhibition of mild steel corrosion in HCl using pineapple leaves (*Ananas comosus* L.) extract // *Journal of materials science*. – 2010. – T. 45. – C. 5558–5566.
15. Gong M. и др. Corrosion Inhibition of Carbon Steel in Sulfuric Acid by [BMIm] [Lys] Amino Acid Ionic Liquids // *Adv. Mater. Res.* 2012. T. 476–478. C. 1434–1440.
16. Eddy N., Ekwumemgbo P., Odoemelam S. A. Inhibition of the corrosion of mild steel in H₂SO₄ by 5-amino-1-cyclopropyl-7-[(3R,5S) 3, 5-dimethylpiperazin- 1-YL] -6, 8-difluoro-4-oxo-uinoline-3-carboxylic acid (ACPDQC) // *Int. J. Phys. Sci.* 2008. T. 3. C. 275–280.
17. Eddy N. O. и др. Quantum chemical study of the inhibition of the corrosion of mild steel in H₂SO₄ by some antibiotics // *J. Mol. Model.* 2009. T. 15. № 9. C. 1085–1092.

18. Akpan, I.A. and Offiong, N.O. (2012), "Effect of ethanolamine and ethylamine on the entropy content of the corrosion of mild steel in tetraoxosulphate (VI) acid solution", Chemistry and Materials Research, Vol. 2 No. 7, pp. 40-47.
19. Ebenso E., Eddy N., Odiongenyi A. Corrosion inhibitive properties and adsorption behaviour of ethanol extract of Piper guinensis as a green corrosion inhibitor for mild steel in H₂SO₄ // Afr J Pure Appl Chem. 2008. T. 2.
20. Liu Q.-S. и др. Adsorption isotherm, kinetic and mechanism studies of some substituted phenols on activated carbon fibers // Chem. Eng. J. 2010. T. 157. № 2–3. С. 348–356.
21. Hamdy A., El-Gendy N. Sh. Thermodynamic, adsorption and electrochemical studies for corrosion inhibition of carbon steel by henna extract in acid medium // Egypt. J. Pet. 2013. T. 22. № 1. С. 17–25.

ДАЛАЛЫҚ ШЫРМАУЫҚТЫҢ СУЛЫ СЫҒЫНДЫСЫ (*CONVOLVULUS ARVENSIS L.*) – 1.0 МОЛЬ/Л HCl КӨМІРТЕКТІ БОЛАТТЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТАЗА КОРРОЗИЯ ИНГИБИТОРЫ

Сейлова Т.Б., Асанова Д.Ж., Серикқалиева А.А.

Ғылыми жетекші: Акатьев Николай Владимирович

Бұл жұмыста гравиметриялық және электрохимиялық әдістерді қолдану арқылы дала шырмауығының (*Convolvulus arvensis L.*) сулы экстрактының 1,0 моль/л тұз қышқылы ерітіндісіндегі СТЗСП2-ГП2 маркалы көміртекті болатқа қатысты коррозияны тежеу қасиеттері зерттелді. Аррениус теңдеуіне негізделген есептеу-графикалық әдістер арқылы коррозия процесінің активация параметрлері, термодинамикалық сипаттамалары және ингибитордың металл бетіне адсорбция параметрлері анықталды. Зерттеу нәтижелері бойынша *C. arvensis L.* сулы экстрактының ингибирлеу тиімділігі 2,0 г/л концентрацияда 90,23%-ға жететіні анықталды, бұл барлық зерттелген температура диапазонында Ленгмюр адсорбция изотермасына бағынатын өздігінен жүретін экзотермиялық физиосорбциямен түсіндіріледі. Электрохимиялық зерттеулер экстрактың аралас типті ингибитор ретінде әрекет ететінін, яғни анодтық және катодтық реакцияларды шамалас дәрежеде баяулататынын көрсетті. Ингибитор концентрациясының және коррозиялық ортаның температурасының жоғарылауы фитокомпоненттердің металл бетіне диффузия жылдамдығының артуына байланысты қорғаныш әсерінің күшеюіне алып келеді. Электрохимиялық әдістермен анықталған қорғаныш тиімділігінің мәндері гравиметриялық деректермен жақсы үйлеседі.

Кілт сөздері: *Convolvulus arvensis* L.; коррозия; көміртекті болат; металды қорғау; коррозияға қарсы ингибиторлар; өсімдік сығындылары; табиғи ингибиторлар.

AQUEOUS EXTRACT OF FIELD BINDWEED (*CONVOLVULUS ARVENSIS* L.) – ECO-FRIENDLY CORROSION INHIBITOR OF CARBON STEEL IN 1.0 MOL/L HCl

*Seilova Tomiris Berikovna, Asanova Dilyara Zhanatkyzy,
Serikkaliyeva Aida Aidarhankyzy*

Scientific supervisor: Akatyev Nikolay Vladimirovich

*In this study, the inhibitive properties of an aqueous extract of field bindweed (*Convolvulus arvensis* L.) toward carbon steel ST3SP2-GP2 in 1.0 M hydrochloric acid were investigated using gravimetric and electrochemical methods. Thermodynamic parameters, activation parameters of the corrosion process, and adsorption characteristics of the inhibitor on the metal surface were determined using graphical calculation methods based on the Arrhenius equation. The results demonstrated that the inhibition efficiency of the *C. arvensis* L. aqueous extract reached 90.23% at a concentration of 2.0 g/L, which is attributed to spontaneous exothermic physisorption obeying the Langmuir adsorption isotherm over the entire temperature range studied. Electrochemical measurements revealed that the extract acts as a mixed-type inhibitor, retarding both anodic and cathodic reactions to a comparable extent. Increasing the inhibitor concentration and the corrosion medium temperature enhanced the protective performance due to the increased diffusion rate of phytochemical constituents toward the metal surface. The inhibition efficiencies obtained from electrochemical measurements are in good agreement with the gravimetric data.*

Keywords: *Convolvulus arvensis* L.; corrosion, carbon steel; metal protection; corrosion inhibitors; plant extracts; natural inhibitors.