

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 542.61, 544.323.2

ОСОБЕННОСТИ НАСЫЩЕНИЯ ЭКСТРАГЕНТА ПРИ ЭКСТРАКЦИИ ИОДА

Степанов Артем Дмитриевич, магистрант, направление подготовки 04.04.01 Химия, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: artema437@mail.ru

Научный руководитель: **Пономарева Полина Александровна**, старший преподаватель кафедры химии, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: pponomareva@narod.ru

Аннотация. В рамках процессов концентрирования и извлечения актуальным является применение моделей неравновесной термодинамики для исследований реакций в потоке, в стационарной и равновесной системах. Это особенно важно для исследования возможного локального перенасыщения органической и водной фаз, а также при проведении окислительных реакций, для предотвращения локальных переокислений. Модель потока вещества, которая рассматривается в рамках неравновесной термодинамики, позволяет учесть все особенности производимой реакции и её термического эффекта. На основании термодинамических и термокинетических данных, полученных из теоретического расчёта и экспериментального определения процесса окисления и экстракции галогенов появляется возможность определить механизм и построить модель извлечения.

Ключевые слова: экстракция, неравновесная термодинамика, методы концентрирования, извлечение, физическая химия.

Для цитирования: Степанов А. Д. Особенности насыщения экстрагента при экстракции иода // Шаг в науку. – 2024. – № 4. – С. 20–23.

FEATURES OF EXTRACTANT SATURATION DURING IODINE EXTRACTION

Stepanov Artem Dmitrievich, postgraduate student, training program 04.04.01 Chemistry, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: artema437@mail.ru

Research advisor: **Ponomareva Polina Alexandrovna**, Senior Lecturer of the Department of Chemistry, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: pponomareva@narod.ru

Abstract. Within the framework of concentration and extraction processes, it is relevant to apply models of nonequilibrium thermodynamics to study reactions in a stream, in a stationary and equilibrium system. This is especially important for the study of possible local supersaturation of the organic and aqueous phases, as well as during oxidative reactions, to prevent local overoxidation. The model of the flow of matter, which is considered in the framework of nonequilibrium thermodynamics, allows us to take into account all the features of the reaction and its thermal effect. Based on thermodynamic and thermokinetic data obtained from theoretical calculation and experimental determination of the oxidation and extraction of halogens, it becomes possible to determine the mechanism and build a model of extraction.

Key words: extraction, nonequilibrium thermodynamics, concentration methods, extraction, physical chemistry.

Cite as: Stepanov, A. D. (2024) [Features of extractant saturation during iodine extraction]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 20–23.



Экстрагирование – способ извлечения растворённого вещества или группы веществ, с помощью ограниченной или нерастворимой жидкости (жидкостная экстракция) или извлечение из твёрдой фазы с помощью жидкости (твёрдофазная экстракция). Она применяется для концентрирования и разделения как микро-, так и макроэлементов в различных пробах. Современное состояние метода требует использования

экстракционных моделей, в том числе компьютерных, что делает его более инновационным [1].

Физико-химические основы экстракции заключаются в переходе вещества из одной термодинамической системы – фазы, в другую, при этом важно присутствие границы фаз и их соприкосновение.

Из-за стремления системы к состоянию равновесия, которое характеризуется формулой (1):

$$\mu_1 = \mu_2, \quad (1)$$

где

μ_1 и μ_2 – химический потенциал вещества в пробе и экстрагенте, соответственно.

Система стремится уравнивать химические потенциалы, при T и $P = const$, концентрации C_1 и C_2 будут составлять собой зависимость. Данная зависимость

может иметь различные формы, в случае простого физического распределения [3]:

$$y = k_p x, \quad (2)$$

где

k_p – является постоянной при изотермических условиях, также называемой коэффициентом распределения.

При этом формула (2) имеет смысл, только если отсутствует химическое взаимодействие между пробой и экстрагентом, также они должны быть полно-

стью нерастворимы друг в друге [5].

Однако формулу (1) можно расширить, учитывая, что:

$$\mu_1 = \mu^0 + RT \ln(a_1), \quad (3)$$

где

a – активность растворённого вещества,
 μ^0 – стандартный химический потенциал.
 Следовательно, из формулы (3) получаем:

$$\mu_1^0 + RT \ln(a_1) = \mu_2^0 + RT \ln(a_2). \quad (4)$$

В рамках данных выражений можно перейти к электролитическим свойствам вещества, учитывая, что чаще всего экстракция проходит в среде полярно-

го растворителя на примере воды, и органического, где константа диссоциации довольно низка, то константа диссоциации может быть выражена [4]:

$$K_{diss} = e^{\frac{Q}{\varepsilon kT}}, \quad (5)$$

где

Q – энергия взаимодействия ионов,
 ε – диэлектрическая проницаемость,
 k – константа Больцмана.

При учёте константы диссоциации, мы можем выразить взаимосвязь концентрации вещества в органической и водной фазе [6]:

$$\mu_1^0 + RT \ln\left(\frac{C_1}{C_0}\right) = \mu_1^0 + RT \ln\left(\frac{C_2}{C_0}\right). \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что

$$\mu_1^0 - \mu_1^0 = RT \ln\left(\frac{C_1}{C_0} \cdot \left(\frac{C_0}{C_2}\right)\right) = RT \ln\left(\frac{C_1}{C_2}\right). \quad (7)$$

Если $T = const$, то

$$K = \frac{C_1}{C_2} \quad (8)$$

Для экспериментального определения степени насыщения экстрагента был проведён анализ содержания экстракционной композиции: фосфорорганическое вещество – изоалкан, которое было использовано

для экстракции иода из окисленного образца пластовой воды. Итоговая зависимость количества вещества иода в водной и органической фазах после каждого этапа экстракции представлена на рисунке 1.

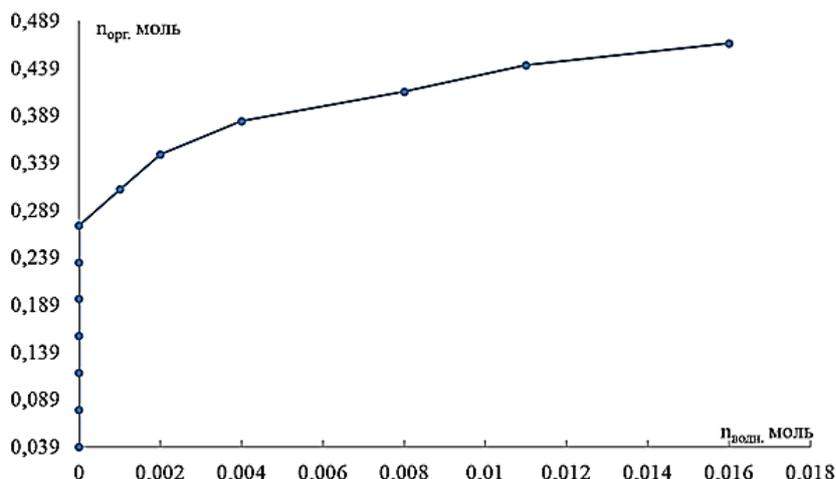


Рисунок 1. Диаграмма насыщения экстракционной композиции иодом

Источник: разработано автором

При анализе зависимости просматривается, что в начале проведения исследования количество моль вещества в воде практически не изменялось – причина – это предельно высокая растворимость иода в органических неполярных соединениях и плохая растворимость в полярных, в данном случае в воде, что позволяет извлекать иод из пробы практически полностью с высокой степенью извлечения [7].

Полученная диаграмма подтверждает эффективность поэтапной последовательной экстракции при работе с галогенсодержащими экстрактами [2], зависимость $y = kx$, при этом сохраняется при высоком степени применения аппроксимации. Без учёта интервала графика, где $\Delta n_{водн} = 0$ и проведении линии тренда, получаем прямую, отражённую на рисунке 2.

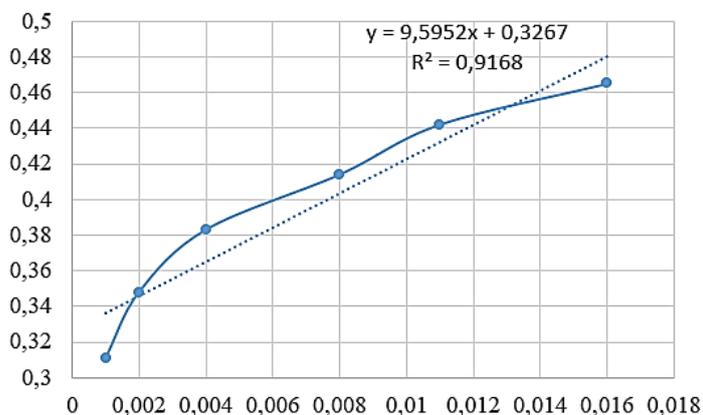


Рисунок 2. Аппроксимированный график функции

Источник: разработано автором

Высокий коэффициент достоверности аппроксимации – более 0,9 свидетельствует о том, что механизм подчиняется данной зависимости и может рассматриваться как простое физическое распределение иода при переходе из одной фазы в другую, в рамках которого система приходит к равновесию (1).

Из характера насыщения выявлено, что иод экстрагируется по механизму физического распределения, и, имеется возможность проводить процессы концентрирования галогенид-ионов с помощью экстракционной композиции: фосфорорганическое вещество – изоалкан.

Литература

1. Аналитический обзор подходов к моделированию процессов жидкостной экстракции / Р. Б. Комляшев [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2019. – № 5. – С. 28–34.
2. Власов Г. А., Буравцева Г. И., Игумнов С. М. Исследование процесса экстракции йода и брома из окисленных попутных вод нефтегазодобычи эмульгированными нефтепродуктами // Химическая промышленность сегодня. – 2005. – № 2. – С. 3–10.
3. Кафаров В. В., Дорохов И. Н., Кольцова Э. М. Системный анализ процессов химической технологии: методы неравновесной термодинамики: монография – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 367 с.
4. Михайлов В. А. Термодинамика экстракции и сольватация молекул // Журнал физической химии. – 2003. – Т. 77, № 10. – С. 1777–1782.
5. Пономарева П. А. Определение лимитирующей стадии процесса экстракции иода из бессолевых растворов композицией алкилфосфорный эфир-изооктан // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10(185). – С. 308–311.
6. Пономарева П. А. Определение равновесных параметров экстракции иода смесями экстрагентов различной природы // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2017. – № 9(209). – С. 40–43.
7. Ягодин Г. А., Чекмарев А. М., Дмитриев С. Н. К вопросу о механизме аномального насыщения органической фазы при экстракции сульфата циркония три-*n*-октиламинол // Журнал неорганической химии. – 1980. – Т. 25, № 5. – С. 1337–1340.

Статья поступила в редакцию: 19.06.2024; принята в печать: 27.09.2024.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.