

Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» определяет условия, обеспечивающие переход на энергоэффективное развитие экономики. Согласно намеченным планам приоритетными направлениями при реализации мероприятий являются инновационное развитие ресурсосберегающих технологий и масштабные научные исследования. Важной задачей при переработке нефтесодержащих грунтов является, прежде всего, получение из них углеводородов, извлекаемых с помощью различных экстрагентов. В настоящее время для указанных целей не применяются низкокипящие растворители, для регенерации которых необходимо значительно меньше энергии, чем при использовании растворителей с более высокими температурами кипения [1, 2]. В научно-технической литературе практически отсутствуют результаты исследования кинетики процесса экстрагирования углеводородов из нефтесодержащих грунтов данными растворителями. С целью определения кинетических параметров процесса экстрагирования углеводородов из нефтесодержащего грунта (выщелоченного чернозема) низкокипящим растворителем были проведены соответствующие эксперименты. В качестве низкокипящего экстрагента был использован метилхлорид, а в качестве исследуемого образца – грунт, содержащий 20 % масс. нефти. Экстрагирование проводили при трех различных температурах: 10, 20 и 30 °C. Полученные результаты представлены на гистограмме (рис.1). Для описания кинетики данных процессов было использовано уравнение Ерофеева-Колмогорова [3], (1) где  $n$  – степень извлечения нефти;  $k$  – постоянная, определяющая константу скорости процесса;  $A$  – постоянная, определяющая характер процесса;  $t$  – время. По значению коэффициента определяют характер процесса: при  $n = 1$  – процесс диффузионный; при  $n > 1$  – процесс кинетический;  $n = 1$  – скорость конвективной диффузии сопоставима со скоростью молекулярной диффузии. Полученные результаты представлены в логарифмических координатах (рис. 2). Результаты проверки достоверности аппроксимации полученных экспериментальных данных линейной зависимостью, представлены в табл.1. Графическая зависимость показывает, что значения постоянной будут соответствовать тангенсам угла наклона линий тренда. Для определения константы скорости процесса использовано уравнение Г.В. Саковича [4], (2) Расчет энергии активации проведено по уравнению Аррениуса, (3) или в логарифмической форме, (4) где  $k$  – константа скорости;  $A$  – предэкспоненциальный множитель;  $E$  – энергия активации;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура. Таблица 1 – Результаты проверки достоверности аппроксимации

| Образец                                                 | Температура, °C | Параметры процесса | $n$  | $k$  | мин1 R2 |
|---------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|------|------|---------|
| Нефтесодержащий грунт с концентрацией нефти 20 %, масс. | 10              | 0,62               | 0,29 | 0,99 |         |
| 20                                                      | 0,62            | 0,40               | 0,99 |      |         |
| 30                                                      | 0,71            | 0,42               | 0,99 |      |         |

Продолжение таблицы 1

На рис. 3 представлены графики зависимости константы скорости процесса от обратной

температуры. Полученные расчетным путем значения параметров: констант скоростей, энергий активации и предэкспоненциальных множителей, представлены в табл. 2. Таблица 2 Результаты расчета параметров Растворитель

| Температура, °C | K     | мин-1 | E, кДж/моль | IgB | MX    |
|-----------------|-------|-------|-------------|-----|-------|
| 10              | 0,085 | 32,81 | 4,93        | 20  | 0,139 |
| 30              | 0,211 |       |             |     |       |

Рассчитанные значения параметра (табл.1), свидетельствуют о том, что кинетика процесса экстрагирования углеводородов из выщелоченного чернозема определяется в большей степени скоростью молекулярной диффузии углеводородов из частиц грунта, что можно объяснить наличием в нем частиц глины и гумуса, способствующих увеличению сопротивления экстракции. Таким образом, проведенные исследования показали, что процесс экстрагирования углеводородов из нефтесодержащих грунтов может быть описан с помощью уравнения Ерофеева-Колмогорова, а для расчета энергии активации может быть использовано уравнение Аррениуса.