

**О ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТАХ**

*ст. преп. А.Н. КОВАЛЕНКО, д-р техн. наук, доц. А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ,
канд. геогр. наук М.А. ПЕТИНА, ст. преп. Е.В. БОЛГОВА, аспирант И.А. ЕГОРОВ
(Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
НИУ «БелГУ», Россия)*

В процессе эксплуатации месторождений подземных вод важным направлением деятельности специалистов является оценивание возможного ущерба эксплуатационным запасам подземных вод с позиций их качества. Проблема изменений качества воды в большинстве случаев связана с наличием источников ее химического загрязнения [1,2]. Поэтому выявление потенциальных источников загрязнения и прогнозирование путей распространения загрязнения подземных вод является актуальной задачей.

Рассмотрим этапы прогнозирования развития химического загрязнения подземных вод при эксплуатации водозаборов при обнаружении источника загрязнения с концентрацией C_r некоторого нормируемого показателя химического загрязнения.

1. Выполняется построение зоны захвата водозабора области эксплуатационной депрессии напоров, в пределах которой все линии тока приходят в водозабор). Зона захвата водозабора строится на основе гидродинамической сетки потока при работе водозабора.

В качестве границы зоны захвата выбирается нейтральная линия тока, точки (x, y) которой в случае ее аналитического построения при использовании одиночной скважины с производительностью Q в транзитном естественном потоке линейной структуры с градиентом I_e и удельным расходом q_e определяются соотношением

$$x = -\frac{y}{\operatorname{tg} \frac{2\pi q_e y}{Q}}. \quad (1)$$

Для источников загрязнения, попадающих в границы зоны захвата водозабора (нейтральная линия тока) на втором этапе определяется предельное возможное загрязнение.

2. С целью определения предельного возможного загрязнения (при попадании в водозабор загрязненных вод с первоначальной концентрацией C_r в источнике загрязнения) сначала определяется расход поступления Q_r загрязнённой воды в водозабор. Для этого на сетке движения выделяется лента тока, охватывающая источник загрязнения, по которой загрязнение будет перемещаться к водозабору, и для нее вычисляется расход Q_r [3,4].

Тогда, концентрация C_3 загрязняющего вещества в точке водозабора определяется следующим соотношением (при условии сохранения концентрации вещества в источнике загрязнения на протяжении всего срока эксплуатации водозабора):

$$C_3 = C_e + \bar{Q}_r (C_r - C_e), \text{ где } \bar{Q}_r = \frac{Q_r}{Q_3}, \quad (2)$$

C_e – концентрация анализируемого загрязняющего вещества в природной среде (естественная), C_r – концентрация вещества в источнике загрязнения, Q_r – расход поступления загрязнённой воды в водозабор, Q_{Σ} – общий расход воды в водозаборе.

В случае, если результирующая предельная концентрация C_{Σ} компонента загрязнения в водозаборе меньше ПДК, то анализируемый источник загрязнения не представляет опасности для выбранного водозабора.

3. При прогнозировании развития химического загрязнения подземных вод также рекомендуется вычислять критическое время $t_{кр}$ первоначального попадания загрязняющих веществ из анализируемого источника загрязнения в водозабор. Определение значения данной характеристики позволяет оценить перспективы распространения загрязнения с целью выработки решений по защите водозабора.

Упрощённо перенос загрязнения в потоке описывается на основе так называемого «поршневого вытеснения». Тогда критическое время $t_{кр}$ определяется следующим образом [4]:

$$t_{кр} = \frac{L_0}{u^*} = \frac{L_0 n^*}{KI}, \quad (3)$$

где L_0 – расстояние по кратчайшей линии тока от контура загрязнённых вод источника загрязнения до водозабора;

u^* – действительная скорость перемещения фронта загрязнения:

$$u^* = \frac{v}{n^*} = \frac{KI}{n^*}$$

v – соответствующая скорость фильтрации; n^* – эффективная пористость водовмещающих пород, K – коэффициент фильтрации водовмещающих пород; I – градиент напора в загрязнённой ленте тока.

Следует отметить, что при наличии неоднородности параметров K , I , n^* в области распространения загрязнённой ленты тока вычисления осуществляются последовательно в пределах подобластей однородности значений используемых параметров.

4. Также во многих случаях по линии распространения загрязнения присутствуют различного рода дисперсии, что вызывает «размытость» линии фронта движения загрязнения. Поэтому, концентрация загрязняющего вещества в водозаборе в произвольный момент времени определяется следующим образом:

$$C_{\Sigma} = C_e + \bar{Q}_r (C_t - C_e),$$

где C_t – значение концентрации загрязняющего вещества в воде в точке водозаборной скважины на момент времени t ,

или

$$C_{\Sigma} = C_e + \bar{Q}_r \bar{C}_t (C_r - C_e). \quad (4)$$

где \bar{C}_t – «относительная концентрация»:

$$\bar{C}_t = \frac{C_t - C_e}{C_r - C_e}$$

Таким образом, для решения задачи прогнозирования развития химического загрязнения подземных вод в эксплуатируемых водоносных горизонтах с учетом реальных характеристик водовмещающих пород необходимо определять C_t в зависимости от времени. Обычно применяют два подхода: аналитическое решение на основе соответствующей миграционной схемы и решение на основе моделирования миграции численными методами с использованием уравнений конвективно-диффузионного переноса. При решении реальных задач прогнозирования развития загрязненности подземных вод учитываются так называемые эффективная пористость водовмещающей породы для каждого компонента загрязнения или их соединений, а также коэффициент дисперсии – количественный параметр, характеризующий степень «размывания» линии фронта миграционного потока.

Указанные этапы прогнозирования развития химического загрязнения подземных вод при эксплуатации водозаборов получить информацию, необходимую для анализа распространения загрязнения подземных вод и принятия соответствующих решений по проектированию защитных мер. Примером таких мероприятий могут служить перемещение водозаборного участка, уменьшение его проектной производительности, организация гидрогеодинамической защиты путем перехватывающего водозабора или путем закачки вод, препятствующих движению загрязненных подземных вод к анализируемому водозабору.

Таким образом, приведенные подходы прогнозирования развития химического загрязнения подземных вод обеспечивают организацию защиты эксплуатационных запасов подземных вод на территории горнодобывающего узла.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00451.

Литература

1. Закуткин, В.П. Временные методические рекомендации по гидрогеохимическому опробованию и химико-аналитическим исследованиям подземных вод (применительно к СанПиН 2.1.4.1074-01) / В.П. Закуткин, Л.В. Боровский. – М. : ГИДЭК, 2002.
2. Оценка эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод по участкам недр, эксплуатируемым одиночными водозаборами : метод. рекомендации. –М. : ГИДЭК, 2002.
3. Шестаков, В.М. Гидрогеодинамика / В.М. Шестаков. – Изд. 3-е. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 368 с.
4. Штенгелов, Р.С. Формирование и оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод / Р.С. Штенгелов. – М. : Недра, 1988. – 231 с.