

УДК 622.235

О.В. Соколова

**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВОВЛЕЧЕНИЯ В ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ
ШАХТНЫХ ВОД ЛИКВИДИРУЕМЫХ
УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА**

В настоящее время социально-экономическая ситуация в России стабилизируется. В то же время существует целый ряд проблем сдерживающих процесс улучшения условий жизни населения. В первую очередь – это состояние окружающей среды, которое в целом ряде регионов остается не благополучным. С учетом развития промышленного производства особенно обостряются проблемы водопользования. В целом ряде регионов России производственно-хозяйственная деятельность длительное время осуществлялась без должного учета влияния на гидросферу. Это особенно характерно для угледобывающих регионов.

Ситуация усугубляется постоянно усложняющимися условиями подземной угледобычи - это углубление горных работ и воздействие на процесс угледобычи различных природных опасностей: повышение газоносности угольных пластов, газодинамические проявления, повышающаяся температура пород, повышенная минерализация шахтных вод и агрессивность глубинных пород.

Значительная нехватка объемов хозяйственно питьевой воды в шахтерских городах и поселках Восточного Донбасса обусловлена отрицательными гидрогеоэкологическими

последствиями горно-хозяйственной деятельности угледобывающих предприятий и их ликвидации, выражающихся в загрязнении водоносных горизонтов.

В настоящее время в программах социально-экономического развития региона предусматривается решение вопросов водопользования, имеются современные научно-технические отечественные и зарубежные решения, позволяющие эффективно вовлекать в хозяйственный оборот шахтные воды. В тоже время нет единого комплексного инструментария по эколого-экономически эффективному вовлечению в хозяйственный оборот шахтных вод формируемых в районах ликвидации угледобывающих предприятий, где особенно остро стоят экологические проблемы.

Таким образом, для водного комплекса ликвидируемых шахт очевидна необходимость строительства очистных сооружений, поиска технических и технологических решений по стабилизации гидрологической ситуации и очистке шахтных вод, обеспечивающих снижение их негативного влияния на окружающую среду.

В основу проводимых исследований положен учет влияния различных факторов на экологические последствия для гидросферы ликвидации шахт Вос-

точного Донбасса. Предлагаемый подход базируется на анализе соответствующих технических, экологических, экономических и нормативно-правовых ограничений водопользования в регионе.

При этом необходимо учитывать, что в случае ликвидации группы шахт негативные экологические последствия усиливаются за счет взаимного влияния различных факторов. В связи с непредсказуемостью ряда процессов последствия могут приводить к потере контроля над ситуацией в искусственно созданных природно-техногенных системах, а из-за их масштабности имеют чрезвычайный характер. Проведенный анализ позволил выявить основные факторы, оказывающие негативное влияние на гидросферу:

- объемы ликвидируемого выработанного пространства и сложность его конфигурации;
- наличием смежных действующих шахт, безопасная доработка запасов которых должны быть обеспечена;
- уровень концентрации водоотведения из выработок ликвидированных шахт в ограниченном числе пунктов (групповые водоотливы);
- интенсивность изменения и ухудшения качества шахтных вод;
- формирование вод аномального состава (высокая минерализация до 19 г/л, с преобладанием сульфат-иона, высокое содержание железа – до 1 г/л, кислая реакция);
- развитость и природно-экологическая значимость территориального водного бассейна;
- состояние системы водопотребления в регионе.

Таким образом, комплексная переработка шахтных вод для снижения негативного их воздействия на окружающую среду, учитывающая необходимость обеспечения водопотребления и возможность получения товарного продукта является важной региональной

задачей. Разработка конкретных рекомендаций для условий Восточного Донбасса требует учета экономических, социальных и экологических последствий вовлечения в хозяйственный оборот шахтных вод формируемых в районах ликвидации угледобывающих предприятий с полной оценкой затрат, выгод и ущербов через систему критериальной оценки.

Как уже отмечалось ранее, снижение негативного влияния на гидросферу шахтных вод ликвидируемых шахт следует решать одновременно с проблемой регионального водообеспечения. Определение параметров водопользования в настоящее время представляется достаточно сложным, особенно на долгосрочную перспективу, в связи с изменением структуры производства в регионе. На данном этапе есть смысл оценить потребности водопотребления с точки зрения существующих водозаборов, а не стремиться к учету водопотребителей как таковых.

Следует также отметить, что в настоящее время на территории Восточного Донбасса действует около 40 водозаборов различной мощности, осуществляющих откачку, как подземных вод, так и вод речной сети и водохранилищ. В связи с этим, необходимо оценить степень загрязнения используемых упомянутыми водозаборами водных ресурсов, чтобы на последующих этапах исследований, определив возможность очистки шахтных вод ликвидируемых шахт сделать вывод о возможности замены водопользования из наиболее загрязненных водозаборов очищенными шахтными водами.

Проведенная систематизация мер по обеспечению вовлечения в хозяйственный оборот шахтных вод формируемых в районах ликвидации угледобывающих предприятий позволила их сгруппировать по следующим этапам:

- управление водопритоками;
- стабилизация физико-химического состава шахтных вод;
- селективный водоотбор шахтных вод;
- очистка от основных загрязняющих ингредиентов;
- осветление очищенных вод;
- обеззараживание осветленных вод;
- водоподготовка и доставка водопотребителям;
- утилизация осадков и товарная подготовка промышленных химводов;
- мониторинг и контроль качества водопотребления.

При выборе и обосновании технологического регламента очистки шахтной воды следует учитывать следующие основные требования:

- максимальное использование построенных ранее сооружений для откачки и очистки воды с возможной минимизацией дополнительных расходов на монтаж и эксплуатацию комплекса очистки воды;
- автоматизация основных технологических процессов очистки;
- обеспечение возможности дальнейшего использования очищенной воды для хозяйственно-питьевых нужд Восточного Донбасса.

Проведенные исследования показывают, что для выбора эколого-экономически эффективных вариантов вовлечения в хозяйственный оборот шахтных вод, формируемых в районах ликвидации угледобывающих предприятий, требуется соизмерить затраты по всем мероприятиям и эффекты от снижения экологических ущербов, рационализации водопользования и реализации попутно извлекаемых химических реагентов.

В связи с вышеизложенным, эколого-экономическую оценку эффективности вариантов вовлечения в хозяйственный оборот шахтных вод следует

осуществлять посредством экономико-математического моделирования. В качестве целевой функции модели выступает показатель эколого-экономической эффективности, как отношения эффектов от регулирования водопользования в районах ликвидации угледобывающих предприятий к соответствующим издержкам.

Данная модель имеет следующий вид:

$$\sum_t \left[\frac{\sum_n (V_{itn}^c \cdot P_{tn}^c + \sum_l V_{itnl}^c \cdot K_{itnl}^c \cdot P_{tnl}^H) + \sum_t S_{it} \cdot P_{it}^3 + \sum_m (V_{itm}^B (P_{itm}^B - C_{itm}^B) + V_{itm}^n (P_{itm}^n - C_{itm}^n))}{\sum_t \sum_j V_{tj} (Z_{tj}^B + Z_{tj}^c + Z_{tj}^{CB} + Z_{tj}^{OF} + Z_{tj}^{OC} + Z_{tj}^{OB} + Z_{tj}^{BP} + Z_{tj}^n + Z_{tj}^H) \cdot \beta_t^1} \right] \times \gamma_t \quad (1)$$

ограничения:

$$\sum_n V_{itn}^c \leq \sum_j V_{tj} \quad (2), \quad \sum_n \sum_l \frac{K_{itnl}^c}{K_{itnl}^{CF}} \leq 1 \quad (3)$$

$$\sum_m \frac{V_{itm}^B}{V_{tm}^B} \leq 1 \quad (4), \quad \sum_m \frac{V_{itm}^n}{V_{tm}^n} \leq 1 \quad (5)$$

$$\frac{\sum_t P_{itm}^B}{T} \leq P_{tm}^{BF} \quad (6), \quad \frac{\sum_t P_{itm}^n}{T} \leq P_{tm}^{nF} \quad (7)$$

где i – индекс варианта вовлечения в хозяйственный оборот шахтных вод формируемых в районах ликвидации угледобывающих предприятий Восточного Донбасса; j – шахтного водозабора; t – индекс года; l – индекс вида сбрасываемого загрязняющего вещества; n – индекс вида приемника сточных вод; m – индекс вида потребителя хозяйственно-питьевых вод или химических реагентов; \mathcal{E} – эколого-экономическая эффективность вовлечения в хозяйственный оборот шахтных вод формируемых в районах ликвидации угледобывающих предприятий Восточного Донбасса, руб/руб.; V – объем водопритока

шахтных вод, тыс. м³/год; V^c – объем сбрасываемых в поверхностные водоемы и на рельеф неочищенных сточных вод, тыс. м³/год; V^p – объем воды направляемой на водопотребление, тыс. м³/год; V^r – объем реализации химических реагентов т/год; P^c – плата за сброс неочищенных шахтных вод, руб/ м³; S – площадь нарушенных земель, Га; P^p – плата за землю, тыс. руб. /га; K^c – концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, мг/ м³; P^r – плата за негативное воздействие на окружающую среду тыс. руб. /кг; P^b – плата потребителей за водопользование, руб/м³; P^r – цена реализации химических реагентов, руб/т; C^b – эксплуатационные затраты системы водопотребления, руб/ м³; C^p – эксплуатационные затраты на производство химических реагентов, руб/т; Z^b – удельные капитальные затраты на управление водоприитоками тыс. руб/м³; Z^c – удельные капитальные затраты на стабилизацию физико-химического состава шахтных вод, тыс. руб/м³; Z^{cb} – удельные капитальные затраты на селективный водоотбор шахтных вод, тыс. руб/м³; Z^{cr} – удельные капитальные затраты на очистку от основных загрязняющих ингредиентов, тыс. руб/м³; Z^{oc} – удельные капитальные затраты на ос-

ветление очищенных вод, тыс. руб/ м³; Z^{ob} – удельные капитальные затраты на обеззараживание осветленных вод, тыс. руб/м³; Z^{br} – удельные капитальные затраты на водоподготовку и доставку водопотребителям, тыс. руб/м³; Z^r – удельные капитальные затраты на утилизацию осадков и товарную подготовку промышленных химпродуктов, тыс. руб/ м³; Z^m – удельные капитальные затраты на мониторинг и контроль качества водопотребления, тыс. руб/м³; β – коэффициент дисконтирования; y – булева переменная.

Модель функционирует в системе ограничений: по объемным и качественным характеристикам сбрасываемых вод (2, 3); на соответствие объемов водопотребления и реализации хим. продукта имеющемуся спросу (4, 5); на соответствие тарифов по водопотреблению и цен реализации хим. продукта рыночным условиям (6, 7).

Экономико-математическая модель позволяет осуществить оценку вариантов вовлечения в хозяйственный оборот шахтных вод формируемых в районах ликвидации угледобывающих предприятий с учетом устранения негативных последствий водопользования для окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Методические указания по оценке гидрогеологических условий ликвидации угольных шахт» утверждены Минтопэнерго РФ 02.12.97.

2. Агапов А.Е. Эколого-экономическая оценка и систематизация мер по снижению негативных экологических последствий

ликвидации угольных шахт. М.: МГГУ, 2003.

3. Аюров В.Д., Петров И.В., Шашкова О.Г. Моделирование состояния экосистем угледобывающего региона. М., МГГУ, Сб. науч. трудов. «Эколого-экономические проблемы природопользования», 2000. **ГЛАВ**

Коротко об авторах

Соколова О.В. – кафедра «Экономика природопользования», Московский государственный горный университет.

Рецензент д-р экон. наук, проф. И.В. Петров.