

продуктивні і стійкі природні і господарські утворення, що відповідають потребам людини (лісонасадження, штучні водойми, місця для відпочинку населення тощо).

Список літератури

1. Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2006-2011 роках // Сайт Міністерства охорони навколишнього природного середовища України. Режим доступу: www.menr.gov.ua.
2. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки / Л.Ф. Долина. Справочное пособие. - Днепропетровск: Молодежная экологическая лига Приднепровья, 2000. – 61 с.
3. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області у 2006-2008 роках // Сайт Міністерства охорони навколишнього природного середовища України. Режим доступу: www.menr.gov.ua.
4. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Луганській області у 2006-2011 роках // Сайт Міністерства охорони навколишнього природного середовища України. Режим доступу: www.menr.gov.ua.
5. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища Дніпропетровської області у 2006-2011 роках // Сайт Міністерства охорони навколишнього природного середовища України. Режим доступу: www.menr.gov.ua.
6. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища у Львівській області у 2006-2008 роках // Сайт Міністерства охорони навколишнього природного середовища України. Режим доступу: www.menr.gov.ua.
7. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища у Волинській області у 2006-2011 роках // Сайт Міністерства охорони навколишнього природного середовища України. Режим доступу: www.menr.gov.ua.

КАРЬЕРНЫЕ ОЗЁРА

А.М. Гайдин, Отделение горно-химического сырья Академии горных наук Украины

Аннотация. В статье рассматривается комплекс проблем, связанных с преобразованием карьеров в озёра. Показаны отличия карьерных озёр от природных. Освещаются вопросы расчётов динамики заполнения выемок, прогнозирования береговых процессов, формирования химического состава воды, развития флоры и фауны. Даются рекомендации по охране и освоению рекреационного потенциала карьерных озёр.

Введение. Во второй половине двадцатого столетия была создана могучая землеройная техника, что обеспечило ускоренное развитие открытого способа добычи полезных ископаемых. Были выкопаны карьеры площадью в десятки тысяч гектар, глубина их достигла тысячи метров. На переломе тысячелетий вследствие изменений конъюнктуры многие карьеры были закрыты. Возникла необходимость восстановления посттехногенных ландшафтов, нового хозяйственного использования земель, занятых объектами горной промышленности.

В пору экстенсивного земледелия имела хождение точка зрения, согласно которой нарушенные земли нужно вернуть в состояние, существовавшее до начала горных работ. Для этого нужно было бы перевезти породы из внешних отвалов и отходы обогащения обратно в карьер, вернуть плодородный слой и передать землю хлебопашцам. Эта теория отражала устаревшие способы землепользования в эпоху, когда решалась задача «как накормить народ». Сегодня в развитых странах вопросы обеспечения народа едой, одеждой, обувью, средствами транспорта отходят на второй план. Как отмечает профессор Александр Бём, на первый план выходят потребности в комфорте и красоте окружающей среды. «Как некогда человек рыскал в поисках живности, сырья и металлов, так ныне его соблазняют приглашения посетить прекрасные уголки мира. Обычно это места отдалённые, поскольку мало их осталось в наших окрестностях» [1].

Расчёты показывают, что в большинстве случаев затраты на возвращение земель в сельскохозяйственное использование с учётом дисконта вообще не окупаются. Ставится задача вернуть нарушенным ландшафтам экологическую безопасность, биологическое разнообразие и красоту. Всё это обозначается термином «ревитализация», в отличие от рекультивации, подразумевающей возвращение земель в сферу культурного земледелия [2]. Единственным рациональным способом ревитализации карьерных выемок является их затопление.

Состояние проблемы. Согласно Водной Директиве ЕС, созданные в результате антропогенной деятельности водные объекты следует называть и классифицировать так, как называют наиболее близкие к ним природные объекты. Озером называют массив поверхностной воды, отличающийся от рек медленным водообменном, а от моря – отсутствием прямой связи с океаном [3]. Согласно этому определению, затопленные карьеры являются техногенными озёрами. Чтобы отличить от водохранилищ, целесообразно называть их карьерными озёрами. Изучением озёр занимается лимнология – наука об озёрах, их образовании и происходящих в них физико-химических и биологических процессах (озероведение).

Карьерные озёра имеют специфические черты, отличающие их от природных. Их изучение невозможно без интеграции технических, природоведческих и гуманитарных наук: геологии и горного дела, гидрологии и гидрохимии, биологии и биохимии, ландшафтной архитектуры и социологии. Научных публикаций, посвящённых исследованиям карьерных озёр, очень мало. Основы этого направления заложены польскими специалистами, работы которых опубликованы в трудах конференции, состоявшейся в 2003 году в Кракове. Опыт преобразования германских бурогольных карьеров в озёра описан в работе Вернера Фахле [4].

Главное отличие карьерных озёр от природных – их молодость. В периоды формирования и созревания это неравновесные системы. В них проходят гео- и гидродинамические, гидрохимические, биохимические и иные процессы, которые в конечном итоге приводят к достижению равновесия с природной средой. Раскрыть закономерности протекания этих процессов невозможно в отрыве от геологии и горного дела. Поэтому на стыке лимнологии и горно-геологических наук намечается возникновение специального научного ответвления – лимнологии карьерных озёр.

Лимнология карьерных озёр призвана решать следующие задачи. 1) обоснование концепции ревитализации ландшафта и вытекающих из неё видов и объёмов горных работ для подготовки карьеров к затоплению, 2) разработка сценария затопления, 3) предрасчёт динамики затопления, 4) прогноз береговых процессов, 5) прогноз химического состава озёрной воды и его изменений во времени, 6) оценка влияния озера на гидрологию и гидрогеологические условия района, 7) прогноз развития гидробионтов, 8) оптимизация хозяйственного использования озера и прилегающей территории, 9) разработка ландшафтно-архитектурных планов и мероприятий по предотвращению загрязнения воды и прибрежных территорий.

Цель настоящей статьи – показать пути решения перечисленных задач на основе опыта разработки и реализации проектов ревитализации ландшафтов в зонах деятельности предприятий горно-химической промышленности на западе Украины.

Концепция ревитализации ландшафта состоит из двух частей: 1) обеспечение экологической безопасности, устранение негативных экологических последствий горно-добывающей деятельности; 2) обоснование направлений хозяйственного использования территории после восстановления ландшафта.

В первой части выполняются: прогноз опасных геодинамических явлений, которые возникнут после прекращения работ по поддержке экологического равновесия; оценка риска (возможного ущерба) для населения и имущества в зоне опасности; сравнение стоимости активных и пассивных способов устранения риска; обоснование мероприятий по обеспечению безопасности. Во второй части готовятся материалы для согласования направлений нового хозяйственного использования восстановленного ландшафта, разрабатывается схема планирования и основные ландшафтно-архитектурные решения.

Сценарий затопления включает: определение: уровня затопления; ресурсов поверхностных вод бассейна, трас впускных каналов и графика их ввода в эксплуатацию; прогноз влияния перехвата воды карьером на речную систему. Наилучшим решением является быстрое

затопление, так как при этом достигается лучшее качество озёрной воды, минимальные деформации бортов карьера, а также приближаются сроки хозяйственного освоения озера и прибрежной территории.

Затопление начинается с отключения насосных станций водоотлива, после чего выемка начинает заполняться подземными водами и осадками, выпадающими непосредственно на площадь карьера. Далее организуют сток воды из нагорных канав; в выемку поступает вода с прилегающей к карьере водосборной площади. Позднее вступают в строй каналы для подачи воды из ручьев или рек.

Конкретный сценарий затопления зависит от положения карьера относительно местной гидрографической сети, наличия водных ресурсов. Так, например, Яворовский карьер объёмом 195 млн. м³ затоплен водой речек Шкло, Якша і Гноенец, среднегодовой сток которых составляет 40 млн. м³/год. Затопление Подороженского карьера объёмом 135 млн. м³ осуществляется малой речкой Крехивка с годовым стоком 13 млн. м³. Часть карьера в Новом Роздоле была использована под хвостохранилище и затоплена ещё в период эксплуатации. Остаточная выемка объёмом 18 млн. м³ заполнена подземными водами и атмосферными осадками с водосборной площади 15 км², что даёт 3 млн. м³/год. В Польше для затопления карьера Махув объёмом 112 млн. м³ построили канал длиной 1 км для подачи воды из Вислы. Домбровский калийный карьер объёмом 45 млн. м³ пока что затопливается атмосферными осадками.

В период затопления вся вода с водосборной площади накапливается в карьере, что вызывает уменьшение речного стока или даже пересыхание русла реки ниже формирующегося озера. К концу затопления должен быть подготовлен выпускной канал. После этого происходит восстановление саморегулирующегося водного баланса.

Предрасчёт динамики затопления проводится с учётом того фактора, что приток подземных вод по мере поднятия уровня уменьшается. Балансовое уравнение для расчёта затопления в дифференциальной форме выглядит следующим образом:

$$(Q_{нов} + Q_{подз}(S)) * dt = dW(S),$$

где $Q_{нов}$ - приток поверхностных вод, $Q_{подз}$ - приток подземных вод, (S) - понижение уровня воды от начального естественного уровня, dt - элементарный отрезок времени, $dW(S)$ - приращение объема воды за отрезок времени dt ,

$$dW(S) = F(S) * dS,$$

где $F(S)$ – переменная площадь водного зеркала при затоплении.

Приток поверхностных вод складывается из: 1) осадков на площади самого карьера, 2) притока с водосборной площади после ликвидации нагорных канав, 3) из водотоков, которые специально введены в горные выработки.

Приток подземных вод определяется методом аналогии, по данным об откачке воды в период эксплуатации. По мере затопления выработки понижение уровней (напоров) подземных вод уменьшается, соответственно сокращается и приток воды. Поскольку ёмкость выработок обычно намного больше ёмкости горных пород на прилегающей территории, изменения напоров можно рассматривать как последовательность стационарных состояний. Интегрирование ведётся от значения уровня в период эксплуатации до уровня после затопления.

При определении притока в расчет принимают среднеголетние значения гидрометеорологических показателей. Отклонение фактических осадков и модуля стока от статистических данных приводит к ошибке в расчетах. Так, например, во Львовской области за последние 50 лет количество осадков изменялось от 447 до 1039 мм в год, отклоняясь от среднего многолетнего значения на 44% в дождливые годы и на 38% в засушливые. Обработка статистических данных показала, что вероятность отклонения годового количества осадков от нормы зависит от длительности периода затопления. Чем дольше длится затопление, тем ближе среднее количество осадков за период затопления к среднему многолетнему. Напри-

мер, при длительности затопления 6 лет возможное отклонение количества осадков от среднегодовой величины может достигать 25%. Настолько же может отклониться от расчетной и длительность затопления.

Для Яворовского карьера уровень воды постоянно превышал расчетный, максимальное расхождение в 2005 г достигло 6 м. Длительность затопления по расчету составила 6 лет, на самом деле оно закончилось за 5 лет. Ошибка расчета составила 18%. опережение графика наблюдалось и по другим карьерам. Главная причина ошибки – отклонение фактических осадков и соответственно модуля стока от среднегодовых данных, принятых в расчет.

Прогноз береговых процессов ведётся на базе инженерно-геологических исследований, проведенных в период эксплуатации карьеров. К береговым процессам относятся оползни, обвалы, выветривание, размыв (абразия) и эрозия. Влияние подтопления и затопления на устойчивость бортов карьеров мало изучено. Как показал В.А. Мироненко [5], в проницаемых породах «гидростатическое давление, взвешивающее нижнюю часть призмы оползания, изменяет баланс сил в сторону относительного уменьшения удерживающих сил». Более детальный анализ влияния подтопления находим в работе гидротехников. Р.Р. Чугаевым [6], составлены графики для определения уклона устойчивого откоса в зависимости от степени подтопления и механических свойств породы. Наименее устойчив откос, подтопленный на 20-30% высоты.

Оползни и обвалы. Наблюдения на серных карьерах, коренные борта которых сложены слабопроницаемыми мергелями и глинами, показали, что подтопление не вызвало образования новых оползней, а только ускорило прохождение уже существовавших в период эксплуатации. При этом оползневые массы, которые накапливались у подножия бортов карьера, в воде приходят в текучее состояние и «блином» растекаются по днищу. Образовались вертикальные обрывы.

Иначе ведут себя внутренние отвалы, состоящие из кусков полускальных пород. Внутренняя часть отвалов под влиянием сил тяжести и размокания уплотнена и практически водонепроницаема, тогда как в приповерхностной части между кусками породы остаются свободные пустоты. При подтоплении приповерхностная часть теряет устойчивость из-за размокания и сил взвешивания, в результате чего развиваются оползни-оскользны с неглубокой поверхностью скольжения, параллельной откосу. В первую очередь поползли склоны, подрезанные дорогами. Сползающая порода полностью размокает в воде, превращаясь в киселеобразную массу, расплывающуюся по дну почти горизонтально. Поскольку отвалы находятся внутри карьера, никакой опасности эти оползни не представляют. Наоборот, они полезны, так как сползшие массы грунта прикрывают раскрытые на дне карьера гипсы и серные руды.

Наблюдения позволяют предположить, что модель Чугаева-Мироненко справедлива только для проницаемых пород, в которых проявляются архимедовы силы. В водонепроницаемых породах давление воды на поверхность откоса способствует повышению устойчивости. Если в водонепроницаемых породах устойчив сухой откос, то он останется таковым и после затопления.

Выветривание. Существенную роль в деформациях коренных бортов играет выветривание. Попеременное увлажнение и высыхание откоса сопровождается растрескиванием и осыпанием его поверхности. В сухих условиях осыпь защищает низ откоса от дальнейшего выветривания. При подтоплении осыпавшаяся порода размокает и сплывает на глубину, а низ откоса, подвергаясь действию волн, интенсивно разрушается. Борта карьера сдвигаются, образуя высокие вертикальные обрывы.

Абразия. По мере поднятия уровня воды в карьерах оползневая активность уменьшается: всё, что могло сползти, уже сползло. Теперь главную роль в формировании берегов играет волновой размыв. Динамику размыва берегов, сложенных размываемыми породами, определяют: амплитуда колебаний уровня, скорость ветра, скорость затопления, длина разгона волн, литологический состав берега, его высота, наличие растительности.

При медленном затоплении абразия приводит к образованию волноприбойных ниш, над которыми развиваются обвалы. При быстром затоплении размывающее действие волн не успевает проявиться, так как волны всё время омывают новую поверхность. Темп поднятия уровня воды со временем замедляется вследствие увеличения площади водного зеркала и уменьшения притока подземных вод. В то же время длина разгона волн и сила ветра возрастает.

тают, что влечёт за собой интенсификацию размыва. Скорость ветра зависит от глубины карьера и увеличивается по мере его затопления. Соответственно увеличивается высота волн. Размыв приводит к образованию прибрежной отмели, пляжа и клифа. Наклон береговой отмели по мере заполнения выемки уменьшается. В результате профиль берега приобретает характер выпуклой кривой.

После затопления карьера до проектной отметки размыв берега происходит так же, как в обычных озёрах. Величина субгоризонтальной зоны (отмели и пляжа) по вертикали определяется амплитудой колебания уровня воды с поправкой на рабочую высоту волн [7]. В отличие от водохранилищ на реках, амплитуда колебаний уровня в карьерных озёрах не велика, не более 0.5 м. При длине озера 3 - 4 км и скорости ветра до 20 м/с высота волны достигает 1,3 м.

Наблюдения в серных карьерах показали, что в начале затопления уровень воды находился в интервале трудно размываемых мергелей. Постоянное поднятие уровня приводило к тому, что волны каждый раз омывали новую поверхность и не успевали её размывать. Высокие берега защищали озеро от ветра, разгон волн сдерживался островами внутренних отвалов.

По мере поднятия уровня воды площадь водного зеркала увеличивалась, острова были размывы и затоплены, ветер усилился. Вода поднялась до четвертичных отложений - песка и супеси, которые легко размываются. На некоторых участках образовался клиф высотой до 10 м и за год сформировалась береговая отмель шириной 3-4 м. У глинистых берегов отмель местами вообще отсутствует, поскольку продукты размыва переходят в текучую консистенцию и сплывают по крутому откосу на дно. Большое значение имеет неоднородность слагающих борта пород, наличие в них скальных включений. Последние накапливаются у берега, создавая каменную отмостку и препятствуя дальнейшему размыву. После затопления наступает фаза размыва, не отличающаяся от размыва приглубых берегов природных водоёмов. Размыву препятствует зарастание берегов водной растительностью, особенно камышом.

Эрозия. Для затопления карьерных выемок прокладывают каналы от ближайших рек. Если просто пустить воду в карьер, образуется водопад с высотой, равной глубине карьера. Это вызовет масштабную эрозию. Так, на Яворовском карьере случился прорыв воды из-за разрушения плотины водохранилища на малой речке Якша. Поток размыл 25-метровую толщу четвертичных мелкозернистых песков и супесей, при этом образовался овраг длиной около километра. Дальнейший рост оврага был остановлен каменной наброской и насаждением верб. После затопления карьера на месте оврагов образовался живописный залив.

Для предотвращения эрозии предусматривают строительство сопрягающих сооружений. В Польше на карьере Махув для его затопления водой из Вислы построен канал в бетонных берегах длиной 800 м, который заканчивается быстротоком со множеством порогов. Более простое сооружение построено для затопления Подороженского карьера. Канал заканчивался бетонной стенкой, в которую вставили трубу диаметром 0.9 м. Трубу проложили по борту карьера до кровли известняка, покрывающего сернорудную залежь. На Яворовском карьере в качестве сопрягающего сооружения на речке Шкло использовали бетонную рудовозную дорогу во въездной траншее.

На Подороженском карьере в результате катастрофического паводка сопрягающее сооружение было размывто. Образовался глубокий овраг, который от ливня к ливню рос и в течение полутора лет достиг длины 700 м. Поскольку уровень воды в карьере поднимается, устьевая часть оврага затапливается. Установлены следующие основные характеристики эрозии в условиях затопления карьеров.

1. Рост оврага развивается так же, как и в естественных условиях. Он не зависит от изменений уровня воды в карьере, а определяется только режимом потока и размываемостью пород. Продольный профиль оврага выше уровня затопления перемещается вслед за вершиной параллельно самому себе.

2. Наклон русла в зоне донной эрозии зависит от крепости пород, залегающих в днище оврага. Если по мере развития овраг врежется в более крепкие породы, уклон дна увеличивается, а при вскрытии скальных пород образуются пороги, разделяющие параболу русла на отдельные независимые части.

3. В зоне боковой эрозии скорость потока соответствует критической величине, при которой частицы не витают в потоке, а перекатываются. Наклон русла зависит от размера частиц размывной породы.

4. Зона аккумуляции начинается от уровня затопления и по мере поднятия уровня воды распространяется вверх по течению со скоростью $v=V/i$, где V - скорость поднятия уровня воды, i – наклон дна оврага.

После затопления карьеров на месте оврагов образуются живописные узкие заливы, изобилующие рыбой. Береговая линия озера удлиняется, повышается рекреационная ёмкость и привлекательность прибрежных территорий. Заливы очень удобны для организации охраняемых стоянок малого флота. Вынос продуктов размыва в озеро приводит к уменьшению его глубины, изоляции растворимых пород на дне карьеров. На месте конусов выноса образуются мелководья, благоприятные для купания. Поэтому в случае, когда развитие оврагов не представляет опасности для ценных хозяйственных объектов, эрозию можно использовать для повышения качества посттехногенного ландшафта.

При затоплении калийного карьера береговые процессы отличаются тем, что борта сложены растворимыми калийной рудой и соленосными вмещающими породами. В результате растворения солей в берегах образуются глубокие ниши, после чего борта обваливаются. Нерастворимые остатки и продукты обваливания покрывающих пород накапливаются на склонах и дне карьера, изолируя соленосные породы от водной толщ. Установлены следующие стадии деформаций: 1) образование ниш растворения, 2) обвал, 3) растворение обвалившихся глыб, 4) волновой размыв покрывающих отложений. Результатом этих процессов является изоляция водной толщ от соленосных пород. На дне Домбровского карьера уже накопилось около 20 м нерастворимого осадка.

Формирование химического состава озёрной воды. В затоплении карьеров участвуют речные, дождевые и подземные воды, имеющие разный химический состав. Относительное количество вод разного происхождения изменяется по мере затопления выемки. В период затопления определяющим фактором является смешивание вод различного состава. При этом доля минерализованных подземных вод в смеси постепенно уменьшается. Результатом является опреснение водоёма.

Когда уровень воды достигает проектной отметки, приток подземной воды стабилизируется на минимальном значении. Теперь соотношение между количествами поступающей в озеро воды различного состава зависит только от климатических показателей. В этом периоде в озеро поступает менее минерализованная речная и атмосферная вода, а вытекает из озера более минерализованная смесь. Наступает период трансформации, длительность которого приблизительно соответствует периоду водообмена. В конце периода наблюдается стабилизация химического состава воды: количество выносимых солей приближается к сумме вносимых. Летом вследствие испарения вода на вытоке может быть более солёной, чем на входе.

При смешивании минерализованных подземных вод с пресными водами химические реакции между компонентами отсутствуют, поэтому расчёт состава воды проводили по формулам смешивания. Исключение представляет собой характерное для серных карьеров взаимодействие сероводорода подземных вод с кислородом поверхностных. Зная количественное соотношение объёмов поверхностных и подземных вод, мы рассчитали остаточное количество сероводорода в озёрной воде после затопления. Оказалось, что количество кислорода недостаточно для окисления сероводорода. Однако явление стратификации воды по плотности приводит к тому, что в верхней половине водной толщ вода кислородная, а на глубине сероводородная. Глубина поверхности раздела между кислородной и сероводородной зонами зависит от соотношения притоков поверхностных и подземных вод. В Яворовском озере в начале затопления сероводород обнаруживался на глубине 4-5 м. К концу затопления граница его распространения опустилась до 20 м. В озере Глубоком в Новом Роздоле сероводород распространён с глубины 15 м. В Подорожненском озере, где приток подземных вод незначителен, сероводород присутствует только на дне.

В начальный период затопления более плотные подземные воды занимали глубокие впа-

дины, а пресная вода распространялась сверху. В дальнейшем, когда произошло опреснение воды, стратификация водной толщи обусловлена разностью температур. Летом вода до глубины 10-15 м прогревается до 20-23⁰С. Осенью, когда речная вода холоднее озёрной, она ныряет на дно, вытесняя более тёплую воду наверх. Происходит инверсия, в результате температура выравнивается, а вся водная толща перемешивается и очищается от сероводорода. Зимой температура в верхней части близка к нулю, а на глубине составляет 4-5⁰С.

При затоплении калийного карьера стратификация обусловлена только разницей концентраций рассолов и воды. В формировании химического состава воды различаются несколько периодов, соответствующих условиям контакта атмосферных вод с поверхностью соленосных отложений. В период эксплуатации вода стекала по откосам и дну карьера, непосредственно омывая соленосные отложения. Формировались рассолы с концентрацией до 400 г/л. В период затопления карьера в интервале соленосных пород дно и береговые склоны покрываются нерастворимым остатком и продуктами обваливания покрывающих нерастворимых пород. Растворяется только кровля ниш, образующихся в соленосных породах, и обвалившиеся скалы. По мере изоляции выходов соли площадь контакта между солями и водой уменьшается, происходит опреснение воды. Нижние слои водной толщи более плотные, чем верхние, поэтому смешивание не происходит.

После затопления соленосных пород последние по всей площади оказываются покрытыми нерастворимыми отложениями. Над рассолами накапливается пресная вода. Изменения минерализации рассолов иллюстрируется следующей таблицей.

Таблица 1

Изменение концентрации рассола в Домбровском озере

Глубина, м	0	3	5	10	20
Минерализация, г/л:					
апрель 2009 г	165		301	327	
Апрель 2010 г	148		222	222	310
Июнь 2010 г	128	192	222	222	
Март 2012 г	108	158		218	
Март 2013 г	60	120	150	180	256

Как видно из таблицы, минерализация рассолов в приповерхностных слоях неуклонно снижается, что обусловлено уменьшением площади контакта воды с соленосными породами.

Влияние карьерных озёр на гидрологию. Затопление карьера не приводит к восстановлению гидрографической сети, существовавшей до начала горных работ, так как в водосборный бассейн вписывается озеро. В период эксплуатации карьера дренажные воды сбрасывают в реки, что сопровождается изменениями водного режима и увеличением минерализации воды. В период затопления вся вода с водосборной площади накапливается в карьере, что вызывает уменьшение речного стока или даже пересыхание русла реки ниже формирующегося озера. После затопления формируется саморегулирующийся водный баланс. Образование озера оказывает положительное влияние на паводковые явления в бассейне, так как озеро играет роль аккумулятора, сглаживающего пики режима речного стока.

Влияние затопления карьеров на изменение гидрогеологических условий. Затопление выемки сопровождается восстановлением уровней воды в дренируемых карьером водоносных горизонтах. Восстановление напоров происходит синхронно с затоплением, что позволяет использовать для расчётов метод смены стационарных состояний.

Поскольку поверхность перерезаемой карьером территории наклонна, а уровень воды в озере горизонтальный, уровень воды в озере по всему периметру берега, за исключением места вытока, оказывается ниже уровня грунтовых вод до начала горных работ. Поэтому уровни не поднимаются до их начального положения. Озеро, как и карьер в период эксплуатации, продолжает быть очагом разгрузки подземных вод, хотя и с меньшей величиной понижения. Исключение представляет только случай, когда долина ниже карьера пересыпана отвалами.

Задача о распределении уровней и напоров подземных вод решается известными методами цифрового моделирования. При этом озеро представляется в виде границы с постоянным напором, причём для каждого водоносного горизонта контур стока будет различным.

Нередко в период эксплуатации в зоне депрессии осушаются заболоченные участки и их осваивают под строительство или сельское хозяйство. Возникает опасение, что после затопления карьеров произойдёт подтопление таких участков. Так, из-за этого в Польше многие годы искусственно поддерживается пониженный уровень воды в озере на месте карьера Пясечно. На наших озёрах вследствие указанных выше причин вода до прежнего уровня не поднялась.

Подороженский карьер в период эксплуатации был ограждён от притока воды из четвертичных отложений противодиффузионной завесой (ПФЗ). Из-за этого вверх по потоку грунтовых вод наблюдалось подтопление, а внутри ПФЗ горизонт осушился. После затопления карьера уровни воды в контуре ПФЗ восстановились до отметки в озере.

Развитие гидробионтов и их экологическая роль. Карьерные озёра в начале затопления олиготрофны, почти стерильны. Однако уже на первом году затопления выемок в воде появляются живые организмы. Они развиваются в пределах кислородной зоны, причём сами способствуют улучшению качества воды. В мелководной части озёр солнечные лучи, проникая на глубину до 10 м, достигают дна. Здесь развиваются макрофиты - зеленые водоросли, которые обогащают воду кислородом, а также усваивают растворенные в воде соединения фосфора, азота, калия, кальция, серы. В глубоководной части озера различается пронизанная солнечными лучами прогретая верхняя часть (эпилимнион), и тёмная глубокая часть (гиполимнион), отличающиеся по температуре, содержанию кислорода, биопродуктивности. Развитие гидробионтов оказывает большое положительное влияние на состав озёрной воды [8]. Они способствуют насыщению воды кислородом и очищают воду.

В результате температурной стратификации и биохимических процессов формируется вертикальная зональность озёрных вод. В летний период температура воды в верхнем десятиметровом интервале составляет 18-21⁰С. Благодаря большим запасам тепла озёра замерзают обычно только в конце января, и то не каждый год, поэтому на них находят приют тысячи водоплавающих птиц.

Отмирание флоры и фауны приводит к накоплению на дне озёр органического вещества, перерабатываемого анаэробными микроорганизмами. При наличии в воде сульфат-ионов сульфат-восстанавливающие бактерии продуцируют сероводород. В присутствии сероводорода большинство тяжёлых металлов образуют нерастворимые соединения и выпадают в осадок. Так осуществляется очищающая деятельность матери-природы.

Хозяйственное использование озёр и прилегающей территории. Чем быстрее будет затоплен карьер, тем скорее можно будет приступить к использованию новообразованного озера. Для рыбоводства карьерные озёра мало пригодны, так наилучшие условия для рыб создаются в водоёмах глубиной до 10 м. Такие водоёмы просвечиваются солнцем до дна. Тогда на дне растут зелёные водоросли, которые служат кормом для рыб. Однако для любительской рыбалки карьерные озёра осваивают ещё до окончания затопления. В озёрах на месте серных карьеров насчитывают более 20 видов рыб.

Рекреационные качества озёр в бывших карьерах уступают озёрам естественного происхождения из-за прямолинейных крутых берегов, отсутствия уютных заливов и бухт. Чтобы улучшить ценность и ускорить рекреационное освоение озера, целесообразно на стадии пост-майнинга предусмотреть создание мелководных участков. Мелководье полезно отделить от глубоководной части каменными островками, которые будут препятствовать прохождению волн и служить местом отдыха для пловцов. Не обязательно создавать мелководья по всему периметру. Нужно определить потенциальное число отдыхающих и определить необходимую площадь из расчёта 200-500 человек на гектар [9].

Проблема преобразования карьеров в привлекательные озёра не может быть удовлетворительно решена без эстетического подхода. Опираясь на знание законов природы и на принципы эстетики, можно создавать шедевры антропогенных ландшафтов. Для этого уже при проектировании горнодобывающих предприятий должны быть предусмотрены такие системы разработки,

которые после окончания горных работ обеспечивали бы возможность создать наилучший с утилитарной и эстетической точек зрения ландшафт при минимальных затратах на постмайнинг. Техногенные формы рельефа должны рассматриваться как объекты ландшафтной архитектуры. Наилучшие эстетические качества ландшафта достигаются ярко выраженным холмистым рельефом, чередованием открытых, полузакрытых и закрытых пространств с видовыми точками, наличием далёких перспектив, разнообразными насаждениями.

Практика показывает, что разработка ландшафтно-архитектурной схемы планирования территории должна быть первым этапом проектирования будущего ландшафта. Постмайнинг необходимо проводить в соответствии с указанной схемой.

Охрана карьерных озёр. Карьерные озёра находятся в пределах горного отвода предприятий, проводивших добычу полезных ископаемых. Нормативные документы, регламентирующие передачу озёр новым хозяевам, отсутствуют. На деле новые озёра практически бесхозные. На озёрах бесчинствуют браконьеры. Весной охотники поджигают на берегах высохшие травы и камыши, уничтожая всё живое. Рекреанты оставляют на берегах кучи мусора.

В 2011 году в Подороженском озере утонули двое отдыхающих. Ввиду большой глубины озера (около 90 м) водолазам найти утопленников не удалось. Трупы не всплыли, так как наличие на дне сероводорода способствует консервации органических веществ. Особенно часто возникают опасные ситуации при подлёдном лове рыбы. Согласно статье 336 уголовного кодекса Украины «нарушение правил экологической безопасности во время эксплуатации и ликвидации предприятий и сооружений, если это явилось причиной гибели людей или иных тяжёлых последствий, карается лишением свободы... и права занимать определённые должности». Однако этот закон не действует. На берегах озера устанавливают щиты с надписью «купаться и ловить рыбу запрещено». Эти щиты туристы тут же используют для разведения костров.

Согласно Водному кодексу Украины вокруг озёр должны быть установлены водоохранные зоны шириной не менее 100 м. В пределах водоохранных зон запрещается любая хозяйственная деятельность, за исключением направленной на рекреационное использование акватории и лесонасаждений. Практически водозащитные зоны существуют только на бумаге. Например, берег озера на месте глиняного карьера в Николаевском районе Львовщины плотно застроен, лишь небольшая его часть доступна для отдыхающих. На берегу одного из Роздольских озёр находится свалка бытовых отходов. Рациональное использование и охрана карьерных озёр требуют разработки специальных нормативных документов.

Мониторинг и задачи научных исследований. Ввиду отсутствия нормативных документов и ограниченного финансирования, мониторинг и научные исследования карьерных озёр проводились не комплексно. Отделением горно-химического сырья Академии горных наук Украины проводились наблюдения за геохимическими, гидрохимическими, гидрогеологическими процессами. Проводились измерения для выяснения водного баланса.

Многие характеристики озёр, имеющие большое научное и практическое значение, остаются недостаточно изученными. В частности, необходимо провести детальную съёмку рельефа озёрного ложа, продолжить наблюдения за береговыми процессами. Исследовать динамику водных масс и ледово-термический режим, радиационный баланс и теплозапас озёр, газовый режим, фитопланктон, зоопланктон, ихтиофауну, донные отложения, закономерности миграции живого вещества в бассейне, в состав которого входит озеро, его влияние на микроклимат. Большой практический интерес имеет оценка рекреационного потенциала озёр, установление рациональной антропогенной нагрузки и способов её регулирования.

Выводы.

1. Превращение больших карьеров в озёра является единственно рациональным способом их ревитализации. Карьеры являются неравновесной природно-технической системой. Прекращение работ по поддержанию равновесия вызывает проявление совокупности процессов, ведущих к новому равновесию. Прогноз развития указанных процессов позволяет предотвратить опасные ситуации и использовать природные силы для минимизации затрат на постмайнинг и достижения

наилучшего качества восстановленного ландшафта.

2. Опыт реализации проектов преобразования карьеров в озёра и результаты мониторинга позволяют установить ряд закономерностей протекания процессов, обусловленных неуравновешенностью природно-технических систем. Выявление указанных закономерностей требует синтеза горно-геологических, природоведческих и гуманитарных наук. На их сочленении возникает новая дисциплина – лимнология карьерных озёр (геолимнология).

3. Концепция ревитализации ландшафта состоит из двух частей: 1) обеспечение экологической безопасности, устранение негативных экологических последствий горно-добывающей деятельности; 2) обоснование направлений хозяйственного использования территории после восстановления ландшафта.

4. Предложена и апробирована методика предрасчёта динамики затопления карьеров. Точность расчётов определяется расхождением между средне-статистическими и фактическими климатическими показателями в период затопления.

5. Затопление карьеров сопровождается береговыми процессами: оползнями и обвалами, выветриванием, абразией и эрозией. В большинстве случаев эти процессы полезны для ревитализации. Борьба с ними нужна только в том случае, когда они создают угрозу для ценных объектов и коммуникаций. При этом выбор активных или пассивных способов предупреждения опасности опирается на технико-экономические расчёты.

6. В формировании химического состава озёрной воды выделяются периоды: 1) затопления, 2) трансформации, 3) стабилизации. В первый период ведущим процессом является смешивание подземных и поверхностных вод. Во второй период главную роль играет температурная стратификация и водообмен. По мере созревания озера всё большую роль приобретают биохимические процессы. Деятельность гидробионтов улучшает качество озёрных вод.

7. Затопление карьера не приводит к восстановлению гидрографической сети, существовавшей до начала горных работ, так как в водосборный бассейн вписывается озеро. Последнее служит аккумулятором паводковых вод и сглаживает пики уровненного режима вытекающих из озера рек.

8. Депрессия уровней подземных вод вокруг карьера не восстанавливается полностью после его затопления, а только уменьшается. Озеро остаётся зоной разгрузки подземных вод.

9. Проблема преобразования карьеров в привлекательные озёра не может быть удовлетворительно решена без эстетического подхода. Разработка ландшафтно-архитектурной схемы планирования территории должна быть первым этапом проектирования ревитализации ландшафта.

10. Из-за большой глубины карьерные озёра мало пригодны для промышленного рыбоводства. Рациональным способом их использования является рекреация, туризм, водные и подводные виды спорта. Использование и охрана карьерных озёр требуют разработки специальных нормативных документов.

Список литературы.

1. Aleksander Bohm. Eksploatacja krajobrazu. / Kształtowanie krajobrazu terenów poeksploatowanych w górnictwie. - Krakow-2003, p. 9-11.
2. Гайдин А.М. Затопление карьеров с целью ревитализации ландшафтов. «Горный журнал», 2008, №2 с. 80-83.
3. Богословский Б.Б. Озероведение. - М., изд. МГУ, 1960, 350 с.
4. Werner Fahle. Reclamation and remediation in the eastern German lignite regions. / Kształtowanie krajobrazu terenów poeksploatowanych w górnictwie. - Krakow-2003, p. 220.
5. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. – М.: Недра, 1974, 296 с.
6. Чугаев Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения. – Л-д: Энергия, Ленинградское отделение, 1967, 460 с.
7. Качугин Е.Г. Инженерно-геологические исследования и прогноз переработки берегов водохранилищ. – М.: Госгеолтехиздат, 1959, 89 с.
8. Остроумов С.А. Основы теории биотического формирования качества воды и самоочищения водных экосистем. «Екологія довкілля та безпека життєдіяльності», 2004 №6, с. 12-18.
9. Родичкин И.Д. Человек, среда, отдых. - К.: Будівельник, 1977. 280 с.