

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ОЗЕРНЫХ БАССЕЙНОВ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА ЧЕРВОНОЕ)

Б.П. Власов, А.Н. Витченко, Н.В. Гагина, Н.Д. Грищенко

Белорусский государственный университет, г.Минск, vlasov@bsu.by, dr.vitchenko@rambler.ru, nata-gagina@yandex.ru, nata1@yandex.by

Озерные бассейны с геоэкологических позиций рассматриваются как геосистемы, целостность которых определена связями между элементами природных комплексов озер и их водосборов, особенностями хозяйственного использования и управления. Природно-ресурсный потенциал (ПРП) озерных бассейнов включает совокупную величину запасов отдельных ресурсов, учитывает их ценность для хозяйственной деятельности и современное экологическое состояние. Устойчиво этот потенциал может быть использован только при соблюдении принципов рационального природопользования и сохранения высокого качества среды жизнедеятельности человека (*Геоэкологическая оценка..., 2012*).

На основе принятых в природно-хозяйственной классификации озер подходов (*Власов, 2004*), направления ресурсопользования озерных бассейнов разделены на водопользование и водопотребление ресурсов озер, ресурсопотребление и ресурсопользование территорий водосборов, природоохранное использование озер и водосборов. Антропогенные нагрузки на озерные бассейны, превышающие экологически допустимые уровни, ведут к уменьшению величины ПРП, истощению, загрязнению и утрате отдельных видов ресурсов, упрощению структуры потенциала и в итоге к потере хозяйственной и природоохранной ценности озер.

Формирование ПРП озерных бассейнов на первом этапе рассматривается как единый процесс, где изучаются только входные и выходные параметры. Затем исследуется отдельно формирование ПРП озера и его водосбора, их взаимодействие, а также входные и выходные параметры. На третьем – детально анализируется процесс формирования ПРП озера и его водосбора, их взаимодействие с учетом величины, качества и экологического состояния всех видов ресурсов, входные и выходные параметры.

Разработка структурно-логической модели геоэкологической оценки ПРП антропогенно нарушенных озерных бассейнов является основой для проведения оценочных работ и создания специализированной ГИС. Научно-методической основой ее построения выступают методология системного анализа, принципы геоэкологической оценки качества окружающей среды и рационального природопользования (*Природно-хозяйственные регионы..., 2005*). Структурно-логическая модель объединяет в единую систему три блока: справочно-информационный, носящий вспомогательный характер, и основные блоки – геоэкологических индикаторов и геоэкологической оценки.

Справочно-информационная часть модели включает показатели, имеющие как качественное, так и количественное выражение, которые характеризуют природные условия, ресурсы и особенности ресурсопользования озер и их водосборов.

На основе общих критериев, предъявляемых к индикаторам, а также разработанных специальных критериев для оценки озерных бассейнов, построена система геоэкологических индикаторов, репрезентативно характеризующих природные условия и ресурсы объектов исследования, позволяющая достоверно оценить величину и качество ресурсов, их экологическое состояние, произошедшие изменения в результате разнотипных антропогенных воздействий за длительный период хозяйственной деятельности.

Величина ПРП озерного бассейна характеризуется 11 основными геоэкологическими индикаторами, отражающими общие запасы минеральных, водных, земельных, биологических ресурсов, из них для характеристики озер привлечено 7 основных индикаторов, водосбора – 4 индикатора.

Водопотребление основано на заборе воды, возврате или безвозвратном расходе ее части и включает промышленное, сельскохозяйственное, хозяйственно-бытовое, частично рыболовческое направления. Индикатором ПРП для всех этих видов выступает показатель общего объема воды озера. Водопользование характеризуется использованием озер как среды или источника энергии без изъятия воды из водоема. Оно включает направления добычи сапропелей, макрофитов, фито- и зоопланктона, рыболовства и рыбодоводства. Геоэкологическими индикаторами ресурсов водопользования

являются промысловый запас рыбы, запас макрофитов, сезонная биомасса фитопланктона, сезонная биомасса зоопланктона, сезонная биомасса зообентоса.

Ресурсопотребление в водосборе основано на использовании минеральных ресурсов, среди них для состояния водосбора особое значение имеют запасы торфяных залежей, гидрологически связанных с озером в единую систему. Показателями потенциала ресурсопользования для земельных ресурсов является площадь водосбора (км^2); для водных ресурсов – густота речной сети ($\text{км}/\text{км}^2$), для биологических ресурсов распространение естественного растительного покрова.

Качество ПРП рассматривается как ценность ресурсов, обусловленная их природными свойствами, для этого предложены 12 геоэкологических индикаторов, в том числе для озер применимы 8 индикаторов, для водосборов – 4. Геоэкологические индикаторы качества ресурсов включают такие характеристики как генетический тип озер, условный водообмен, видовое разнообразие гидробионтов и др.

Экологическое состояние оценивается индикаторами, связанными с выявлением загрязнения, деградации, нарушения природной среды озерных бассейнов. Подбор индикаторов при этом отражает нормативные требования, предъявляемые к состоянию различных видов ресурсов. Экологическое состояние описывают 10 индикаторов, из которых 5 характеризуют озеро и 5 индикаторов – водосбор озера.

Оценочный блок модели включает алгоритм сопоставления между собой значений фонового и современного состояния величины и качества ПРП озер, водосборов, озерных бассейнов и их экологического состояния. На этом основании проводится расчет соответствующих индексов изменения величины, качества, экологического состояния ПРП, по соотношению их значений определяется степень антропогенной нарушенности озерных бассейнов. Полученные результаты должны быть положены в основу системы мероприятий, смягчающих негативные последствия изменения или утраты части ПРП, ухудшения экологического состояния геосистем.

Величина ПРП озера определяется как суммарный запас всех ресурсов озера, величина ПРП водосбора озера – как суммарный запас всех ресурсов водосбора. Комплексный показатель величины ПРП озерного бассейна оценивает совокупный возможный объем использования всех видов ресурсов в озере и на территории его водосбора. Степень антропогенной нарушенности ПРП озерных бассейнов выявляется по соотношению значений индексов изменения величины, качества и экологического состояния озерных бассейнов. В результате нерационального ресурсопользования в озерных бассейнах их ПРП может изменяться от относительно ненарушенного до критически измененного. В зависимости от степени нарушенности и значений индексов изменений ПРП, разрабатывается дифференцированная система природоохранных мероприятий.

Общие закономерности изменения ПРП озерных бассейнов под влиянием мелиоративных преобразований территории хорошо прослеживаются на примере крупнейшего водоема Полесья – озера Червоное (Власов, 2014; Влияние мелиорации..., 2000; Якушко, 1998). Самый полный и длинный временной ряд данных для озера – это наблюдения за уровнем озера. В сочетании со сведениями об изменении водосбора, этот ряд позволяет достаточно четко выделить различные этапы функционирования озера под влиянием антропогенной деятельности: домелиоративный период (1925–1956 гг.), условно принятый в исследовании за фоновый; период интенсивного мелиоративного воздействия (1957–1990 гг.) и постмелиоративный период (1991 г. – по настоящее время).

Минеральные ресурсы озера, представленные сапропелями кремнеземистого и органического типов, активно добывались в период 1985–1995 гг. За это время было добыто около 1200 тыс.м³ сырья, балансовые запасы сапропелей в настоящее время составляют 68 588,3 тыс.м³. При этом качество ресурса (класс сапропелей) остается неизменным. Индекс содержания тяжелых металлов в сапропелях, характеризующий экологическое состояние ресурса, незначительно увеличился по сравнению с домелиоративным периодом (3,18) и составил 5,45, что характеризует уровень загрязнения как допустимый.

Минеральные ресурсы водосбора озера представлены крупными запасами торфа в основном низинного типа (93%) с высоким содержанием органического вещества (92%). Активная разработка торфяных месторождений на протяжении нескольких десятилетий снизила балансовые запасы торфа более чем на 10000 тыс.м³, качество ресурса при этом осталось прежним. Увеличивается мелиоративная освоенность торфяных месторождений: если в период начального освоения она составляла 10–20%, в 1960-е годы – 36%, в 1980-е – 46%, то в настоящее время достигла 55%.

Водные ресурсы озера претерпели наиболее значительные изменения, причем не только в количественном, но и в качественном отношении. Так, в домелиоративный период среднемесячные значения площади водного зеркала озера изменялись в пределах 39,5–44,5 км², объема водной мас-

сы – 41,2–71,9 млн м³, средняя глубина – 1,0–1,6 м. С начала мелиоративных работ и сокращения площади водосбора до 197 км² среднемесячные значения площади водного зеркала колебались от 38,1 до 45,4 км², нижняя граница колебания среднемесячных объемов сильно понизилась в сравнении с предыдущим периодом, колебания совершались в границах от 27,9 до 77 млн м³, средняя глубина составляла 0,7–1,7 м. В период с 1981 по 1990 г. среднемесячные колебания значений площади озера составляли 31,2–42,6 км². По данным 2003 г. площадь составила 40,82 км². Таким образом, в сравнении с периодом незначительного антропогенного воздействия площадь озера уменьшилась в среднем на 10%. Вследствие морфологических особенностей озера объем водной массы претерпел еще более значительные изменения. В период времени с 1981 по 1990 г. значения этого показателя колебались в пределах 16,8–38,3 млн м³, по последним данным объем озера составил 27,35 млн м³. Таким образом, в среднем произошло уменьшение объема озера на 30%. Средняя глубина озера за период 1981–1990 гг. составляла 0,5–1,4 м, по данным 2003 г. она составила 0,7 м.

В домелиоративный период основным источником питания озера являлись атмосферные осадки на водное зеркало, объем поверхностного притока не превышал 46%, густота речной сети на водосборе составляла 0,4 км/км². Под влиянием мелиорации в приходной части водохозяйственного баланса доля приточных вод с водосбора возросла до 67% при уменьшении роли атмосферных осадков (*Гурьянова, 1992*), густота речной сети (включая мелиоративные каналы) увеличилась до 2,7 км/км². Условный водообмен увеличился с 0,83 в домелиоративный период до 0,95 в настоящее время (в период интенсивной мелиорации он составлял 0,39). Определяющим фактором формирования современного гидрологического режима озера является объем притока поверхностных вод в результате работы насосных станций (н/с), перекачивающих дренажные воды мелиорированных территорий. Так, в 2013 г. суммарный объем сброшенных вод с н/с составил 15,16 млн м³, что в сравнении с объемом озера составляет 55,4%. В разные годы этот показатель менялся и даже значительно превышал 100% (около 140% в 1990 г., 124% в 1997 г.). В сбрасываемых водах регулярно наблюдаются превышения показателей ПДК по общему железу, азоту аммонийному, азоту нитритному и фосфору фосфатному, что значительно снижает качество и влияет на экологическое состояние водных ресурсов озера, в частности химический состав воды и газовый режим водоема (*Радчикова, 2014*) и является одной из основных причин эвтрофирования водоема.

В кислородном режиме периодически, раз в несколько лет, проявляются типичные явления «зимних» и «летних» заморозов, а также перенасыщение воды в результате цветения водорослей. По сравнению с домелиоративным периодом, когда болотный водосбор поддерживал низкую минерализацию озерной воды, высокую цветность, значительное содержание гуминовых кислот, отмечены изменения состава воды в сторону увеличения минерализации, снижения содержания биохимически инертных органических веществ и железа. Процессы дистрофирования сменились интенсивным эвтрофированием озера. В последние годы наблюдается некоторое уменьшение содержания биогенных веществ. Начиная с 2006 г., ИЗВ не превышал 1, что соответствует градации индекса, характеризующей воду как относительно чистую.

Земельные ресурсы водосбора озера также претерпели значительные изменения. Так, в домелиоративный период водосборная территория озера, представленная в основном низинными болотами, составляла 397 км². Строительство первых мелиоративных объектов на водосборе, проведенное в период 1957–1970 гг., привело к сокращению площади водосбора до 197 км² (мелиоративная освоенность не превышает 5%). В начале 1970-х наступает следующий переломный этап – реконструкция водосборной территории до 280 км², при этом мелиоративная освоенность водосбора увеличивается до 18%. Период 1981–1990 гг. характеризуется уже 40% освоенностью мелиоративными объектами (при площади водосбора 353 км²), полной перестройкой гидрографической сети, изменением характера стока поверхностных вод, резким понижением уровня воды. В настоящее время площадь водосбора составляет 410 км², освоенность мелиоративными объектами – около 40%.

Высокая антропогенная нагрузка сказалась и на биологических ресурсах озера. Исходя из анализа фитопланктонного сообщества, озеро можно сравнить с его состоянием в 1970-е годы и охарактеризовать как высокоэвтрофное (*Самойленко, 1994*). Постоянно наблюдается интенсивное «цветение» в водоеме сине-зеленых водорослей, при этом биомасса в июне–июле достигает 66,6–80,6 г/м³. По величине биомассы водорослей весной и, частично, летом санитарное состояние воды характеризуется как «загрязненная»; летом основная часть акватории – «грязная». Исследуя данные за более чем столетний период, можно сделать вывод о сокращении числа видов зоопланктона в озере (*Черемисова, 1968; Десятник, 1989*). В последние 30 лет в летнем зоопланктоне наблюдалось снижение численности и биомассы в 5 и более раз. Также произошло качественное изменение в составе зоопланктона – ранее преобладали ракообразные, теперь же доминируют коловратки.

Анализ наблюдений за видовым составом и количественным развитием макрофитов позволяет говорить о том, что существовавший в домелиоративный период гелофитный тип зарастания сменился гидрофитным. Значительно увеличилась площадь зарослей макрофитов, особенно мягкой гидрофитной растительности, которая создавала в озере за вегетационный период 3254,4 т ВСВ, что составляло более половины общей биомассы макрофитной растительности озера. Гелофитная растительность занимала 23,5% заросшей площади и создавала 2837 т ВСВ. Индекс сапробности Пантле-Букка по шкале Сладчека был довольно высок – около 2. Это свидетельствует о том, что в озере основная продукция формировалась небольшим количеством видов с высоким индикаторным весом, что является характерным для озер, испытывающих интенсивное антропогенное воздействие. Обследование озера в 2011 г. показало, что степень и характер зарастания водоема вновь претерпели значительные изменения: зарастало лишь 8% площади озера, площадь зарастания погруженных растений сократилась в 5 раз (менее 15% заросшей акватории). Нестабильный гидрологический режим, низкая прозрачность, высокая цветность воды привели к уменьшению биомассы надводных макрофитов и практически полному исчезновению подводных, что свидетельствует об увеличении антропогенной эвтрофикации озера.

До проведения мелиорации оз.Червоное являлось богатейшим рыбохозяйственным водоемом европейской части СССР. В озере обитало 16 видов рыб и ежегодно изымаемая рыбопродукция составляла 60–80 кг/га. Основу уловов составляли сборные сорта «мелочь», представленные в основном окунем, плотвой и ершом. С 1966 по 1975 г. изымаемая рыбопродукция была низкой и составляла в среднем около 10 кг/га, более 50% приходилось на «мелочь III гр.», представленную в основном ершом и окунем (*О причинах...*, 1970). В последующие годы условия жизни рыб несколько улучшились, возросла рыбопродуктивность, разнообразнее стала ихтиофауна. В 1990 г. рыбопродуктивность была 21,6 кг/га. В результате сильных зимних заморозов в 1994–1996 гг. ихтиофауна практически полностью погибла (*Состояние ихтиофауны...*, 2000). По данным промысловой статистики за 2008–2012 гг., видовой состав уловов насчитывает 10 видов рыб. Зарыбленные виды (судак, щука, карп, карась, толстолобик, белый амур) составляют около 99% улова. Средняя рыбопродукция составила 22,7 кг/га, с колебанием по годам от 11,5 до 34,6 кг/га.

Таким образом, видны значительные изменения в морфометрии и гидрологии озера – уменьшение уровней воды, площади и глубины озера, увеличение условного водообмена, что сказывается на величине и качестве прежде всего водных ресурсов. Критическим изменениям подверглись также биологические ресурсы водоема. Крайним выражением последствий антропогенных воздействий является переход экосистемы озера на другой трофический уровень, смена процессов дистрофирования интенсивной антропогенной эвтрофикацией.

Список использованных источников

- Власов, Б.П. Антропогенная трансформация озер Беларуси: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз / Б.П. Власов. – Минск: БГУ, 2004. – 207 с.
- Власов, Б.П. Изменения экологического состояния озера Червоное под влиянием гидромелиорации водосбора / Б.П. Власов // Природопользование: сб. науч. тр. – 2014. – Вып. 25. – С.91–97.
- Влияние мелиорации на экосистему оз.Червоное / В.Г. Костоусов [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – Минск, 2000. – Вып.16. – С.153–162.
- Геоэкологическая оценка природно-ресурсного потенциала озерных геосистем: метод. рекомендации / Б.П. Власов [и др.]. – Минск: БГУ, 2012. – 23 с.
- Гурьянова, Л.В. Водохозяйственный баланс мелководного озера в условиях осушительной мелиорации земель Полесья (на примере оз.Червоное, РБ) / Л.В. Гурьянова, С.Ф. Тумишская // Вестник Белорусского университета. – Серия 2. – 1992. – N 3. – С. 52–57.
- Десятик, И.И. Динамика количественного развития зоопланктона и зообентоса в оз.Червоное в условиях промышленной выработки сапропелей / И.И. Десятик // Тезисы докл. VI зоологической конференции. – Минск, 1989. – С. 51.
- О причинах снижения рыбопродуктивности озера Червоного / Н.О. Савина [и др.] // Труды БелНИИРХ. – Минск, 1970. – т. 7. – С. 191–204.
- Природно-хозяйственные регионы Беларуси: монография / Под науч. ред. А. Н. Витченко. – Минск: БГПУ, 2005. – 278 с.
- Радчикова, Е.С. Влияние мелиорации на гидрохимию озерных вод и ее оценка на примере озера Червоное / Е.С. Радчикова // Природопользование: состояние и перспективы развития: материалы науч. конф. молодых учёных (Минск, 26–27 марта 2014 г.) / редкол.: А.К. Карабанов (отв. ред.) [и др.]. – Минск: СтройМедиа-Проект, 2014. – С 80–83.
- Самойленко, В.М. Гидробиологический режим озера Червоное / В.М. Самойленко, Г.С. Гигевич, С.А. Бойкова // Экология. – 1994. – № 1. – С. 10–16.

Состояние ихтиофауны и степень использования рыбой кормовой базы оз.Червоное в послезаморный период / В.Г. Костоусов [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – Минск, 2000. – Вып.16. – С. 163–169.

Черемисова, К.А. Зоопланктон оз.Червоного / К.А. Черемисова. – Труды БелНИИРХ. – Минск, 1968. – т.2. – С. 21–25.

Якушко, О.Ф. Озера Полесья. Техногенные преобразования в системе мелиорации / О.Ф. Якушко, Б.П. Власов / Природные ресурсы. – Минск, 1998. – № 2. – С. 97–102.

* * * * *