

ГЕОГРАФИЯ ЗА РУБЕЖОМ

УДК 333.93 (510)

ЛЮ ЦЯЦЗЮНЬ, ДУН СОЧЭН, МАО ЦИЛЯН

Институт географии и исследования природных ресурсов КАН, г. Пекин, КНР

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЕМКОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ КИТАЯ

С системных позиций показаны взаимосвязи социально-экономического развития с экологической средой и водными ресурсами в Китае. Использована комплексная модель оценки для расчета индекса экологической емкости водных ресурсов в конкретные годы для каждой провинции Китая и в целом для страны. Установлено, что размещение населения и хозяйства не соответствует пространственному распределению водных ресурсов. В связи со чрезмерной антропогенной нагрузкой в таких регионах, как Северо-Китайская равнина, Северо-Западный Китай, Синьцзян-Уйгурский и Нинся-Хуэйский автономные районы и провинция Ганьсу, наблюдается острая нехватка водных ресурсов.

Ключевые слова: водные ресурсы, провинции Китая, индекс емкости, нагрузка, комплексная оценка, модель.

Interrelationships between the socio-economic development, ecological environment and water resources in China are demonstrated in terms of system theory. We used a comprehensive evaluation model to calculate the comprehensive evaluation index of water resources carrying capacity. It is found that the spatial distribution of the population and economy does not match with that of the water resources. In connection with excessive anthropogenic loads in such regions as the North China Plain, Northwestern China, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Ningxia Hui Autonomous Region, and Gansu Province, there is a severe shortage of water resources.

Keywords: water resources, China's Provinces, carrying capacity index, load, comprehensive evaluation, model.

ВВЕДЕНИЕ

Первоначально термин «carrying capacity» использовался в технике в значении «пропускная способность» (дорог, каналов, труб, линий связи), «вместимость» (машин), «допустимая сила тока» (в электротехнике). В середине XX в. он появился в экологии, обозначая максимальную численность популяции, которую экосистема способна поддерживать длительное время [1], и трактовался как «поддерживающая емкость», «потенциальная емкость» или просто «емкость» природного объекта.

С ростом численности населения, развитием экономики и технологий нередко наблюдается чрезмерное использование природных ресурсов. Возникают конфликты между ресурсами, окружающей средой, населением и экономикой, которые препятствуют устойчивому развитию. Для определения предельных возможностей природных объектов в обеспечении населения природными ресурсами целесообразно применять понятие «экологическая емкость» или просто «емкость».

Что же касается емкости водных объектов (ЕВО), то этот показатель определяет уровень максимального развития сельского хозяйства, промышленности, городов и населения, которые должны быть обеспечены водными ресурсами в данном регионе при определенных экономических и технологических обстоятельствах без нарушения экологической системы.

В последнее время в Китае достигнут прогресс в качественных и количественных исследованиях ЕВО. Например, использована многоцелевая модель, которая позволяет проанализировать допустимую нагрузку на водные ресурсы (ДНВР) в бассейне р. Хэйхэ [2, 3]. При изучении окружающей среды внутренних засушливых районов предложена система индексов, установлена ЕВО, рассчитан производственный потенциал водных ресурсов [4]. Определена ЕВО областей в нижнем течении р. Хуанхэ [5]. Применена комплексная оценка для анализа предельных условий развития и использования водных ресурсов в бассейне р. Ханьчжун [6]; в том же районе рассчитана ЕВО с помощью анализа главных компонент [7].

На пути к моделированию круговорота воды разработана система индексов комплексной оценки ЕВО для исследования экологически приемлемого водопользования в различных условиях развития [8, 9]. Исходя из необходимости оптимального управления водными ресурсами экосистем с учетом ЕВО, предложены подходы для обеспечения безопасности водных ресурсов на территории Северо-Западного Китая [10]. Именно эта работа положила начало исследованиям, сочетающим изучение водных ресурсов и экологической безопасности.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЕВО КИТАЯ

Цель данной работы — комплексная оценка ЕВО Китая с учетом каждого влияющего на нее фактора. Исходя из принципов теории систем, в данной статье рассматривается сложная система, включающая в себя четыре подсистемы — общество, экономику, экологию и водные ресурсы. На основе синтеза статистики и теоретического анализа определены показатели оценки этих подсистем. С использованием показателей 2008 г. нами построена модель оценки для расчета индекса ДНВП Китая для 31 провинции. Кроме того, в исследование для наглядности включен графический анализ ArcGIS 9.3. Данная работа будет полезна для специалистов, занимающихся вопросами оптимального использования водных ресурсов и устойчивого развития. Для осуществления поставленной задачи разработана система комплексной оценки водных ресурсов (см. табл. 1).

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЕВО

Стандартизация данных осуществлялась через индексацию статистических материалов и преобразование их в безразмерные величины:

$$X_{ij}^* = (X_{ij} - \bar{X}_j) / \sigma_j, \quad \bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_i X_{ij}, \quad \sigma_j^2 = \frac{1}{n} \sum_i (X_{ij} - \bar{X}_j)^2,$$

где X_{ij} — первоначальная, а X_{ij}^* — стандартизованная величины.

Уравнение для расчета региональных ЕВО: $CW = \sqrt[3]{CHI \times CCI \times (\alpha F_e I + \beta F_p I)}$, где CW — итоговый комплексный показатель региональных ЕВО; $F_e I$ и $F_p I$ — индексы региональной экономической и демографической нагрузок на водные ресурсы; CCI — емкость комплексной системы региональных водных объектов; CHI — интегральный индекс для комплексной системы региональных водных ресурсов; α, β — неопределенные «веса», а «вес» $F_e I$ приравнивается к $F_p I$.

Значения нормативов итогового комплексного показателя региональных ЕВО приведены в табл. 2 в соответствии с численными результатами расчетов по вышеуказанной модели.

Уравнение для расчета индекса региональной экономической нагрузки на водные ресурсы $F_e I$:

$$F_e I = \frac{F_e}{GDP_c}, \quad F_e = \frac{GDP}{W_d} \times W_s,$$

где F_e — величина максимально допустимой нагрузки на региональные водные ресурсы; W_d — минимальное количество воды, в котором нуждается региональная социально-экономическая система; W_s — максимальное количество имеющихся в регионе водных ресурсов; GDP — внутренний валовой продукт (ВВП) при потреблении воды в объеме W_d ; GDP_c — фактический валовой внутренний продукт.

Уравнение для расчета индекса региональной демографической нагрузки на водные ресурсы $F_p I$:

$$F_p I = \frac{F_p}{P_c}, \quad F_p = \frac{GDP}{GDP_p},$$

где F_p — численность населения, которая возможна в регионе при условии, что все годные к применению водные ресурсы используются в производстве, т. е. максимальная численность населения, которая может быть обеспечена водными ресурсами в конкретном регионе; GDP_p — самый низкий ВВП на душу населения всех провинций, а P_c — численность населения.

Для устойчивого развития региона необходимо соблюдать условие $F_e I \leq 1,0$; $F_p I \leq 1,0$.

Уравнение для расчета индекса нагрузки для комплексной системы региональных водных объектов CCI :

$$CCI = \frac{CCP}{CCS},$$

где CCP — нагрузка, которую фактически имеет вся система водных объектов, а CCS — нагрузка, которую может выдержать эта система.

Система показателей емкости водных объектов

Группа показателей	Показатели	Описание показателей
1	2	3
Показатели системы водных ресурсов, C_1	<p>Площадь (10^4 га), X_1</p> <p>Количество водных ресурсов на единицу площади (10^4 м³·га⁻¹), X_2</p> <p>Использование водных ресурсов (%), X_3</p> <p>Комплексный показатель качества воды (%), X_4</p> <p>Общий объем водных ресурсов (10^8 м³), X_5</p> <p>Годовые осадки (10^8 м³), X_6</p> <p>Модули водоснабжения (10^4 м³·га⁻¹), X_7</p> <p>Модули поступления воды (10^4 м³·км⁻²), X_8</p>	<p>Данные измерений</p> <p>Среднее количество используемых локальных водных ресурсов/площадь</p> <p>Среднее многолетнее потребление воды в районе/среднее многолетнее количество водных ресурсов в районе (за исключением потребления воды в экологических целях)</p> <p>Общий объем воды, отвечающий экологическим требованиям/среднее количество водных ресурсов за многие годы в районе</p> <p>Статистические данные</p> <p>Статистические данные</p> <p>Общее количество используемой воды/площадь</p> <p>Общее количество поступления воды/площадь</p>
Показатели социальной системы, C_2	<p>Плотность населения (чел/га⁻¹), X_9</p> <p>Естественный прирост населения по регионам (%), X_{10}</p> <p>Доля городского населения (%), X_{11}</p> <p>Достижение нормативной ставки очищенных бытовых сточных вод (%), X_{12}</p> <p>Квота хозяйственной воды (м³/день на 1 чел.), X_{13}</p> <p>Население (10^4 чел.), X_{14}</p>	<p>Численность населения/площадь</p> <p>Отношение чистого годового прироста населения к среднегодовой численности населения</p> <p>Городское население/общая численность населения</p> <p>Общее количество очищенных бытовых сточных вод/общее количество сброса бытовых сточных вод</p> <p>Хозяйственное водопотребление/общая численность населения/365 дней</p> <p>Статистические данные</p>
Показатели экономической системы, C_3	<p>ВВП на душу населения (CNY — китайский юань), X_{15}</p> <p>Темпы роста ВВП (%), X_{16}</p> <p>Квота производственного водопотребления (м³·10^{-4} CNY⁻¹), X_{17}</p> <p>Квота сельскохозяйственного водопотребления (м³·10^{-4} CNY⁻¹), X_{18}</p> <p>Коэффициент охвата орошением (%), X_{19}</p> <p>Квота воды для орошения (м³·га⁻¹), X_{20}</p> <p>Достижение нормативной ставки очищенных промышленных сточных вод (%), X_{21}</p>	<p>Текущий региональный ВВП/общая численность населения</p> <p>Статистика из статистических ежегодников каждой провинции</p> <p>Производственное водопотребление/значение валовой продукции промышленности</p> <p>Сельскохозяйственное потребление воды/значение валовой продукции сельского хозяйства</p> <p>Фактическая орошаемая площадь/возделываемая посевная площадь</p> <p>Потребление воды для орошения/фактическая орошаемая площадь</p> <p>Общее количество очищенных промышленных сточных вод/общий объем потребления воды</p>
Показатели эко-системы, C_4	<p>Норма экологического водопотребления (%), X_{22}</p> <p>Комплексный показатель загрязнения воды (%), X_{23}</p> <p>Залесенность (%), X_{24}</p> <p>Доля заболоченных земель (%), X_{25}</p> <p>Выбросы ХПК (10^4 т), X_{26}</p> <p>Доля опустынивания (%), X_{27}</p> <p>Доля просадки грунта (%), X_{28}</p>	<p>Экологическое водопотребление/среднегодовые водные ресурсы</p> <p>Общий объем загрязненных вод/общий объем водных ресурсов</p> <p>Площадь лесов/общая площадь территории</p> <p>Площадь заболоченных земель/общая площадь территории</p> <p>Статистические данные</p> <p>Площадь опустынивания/общая площадь территории</p> <p>Площадь просадки грунта/общая площадь территории</p>

1	2	3
<i>Показатели связи</i>		
Показатели комплексной связи, C_5	Индекс баланса водоснабжения и водопотребления (%), X_{29} Норма водопотребления (%), X_{30} Общее водопотребление (10^8 м^3), X_{31} Пашня на душу населения (га на 1 чел. ⁻¹), X_{32} Обладание водными ресурсами на единицу площади обрабатываемой земли ($10^4 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), X_{33} Водопотребление на душу населения (м^3 на 1 чел. ⁻¹), X_{34} Коэффициент потерь от стихийных бедствий (%), X_{35}	Среднее многолетнее водопотребление/среднее количество имеющихся водных ресурсов Водопотребление/общее водопотребление региона Статистические данные Возделываемая посевная площадь/общая численность населения Среднее количество местных водных ресурсов за 50 лет/возделываемая посевная площадь Общее водопотребление / общая численность населения Общие потери от стихийных бедствий/текущий региональный ВВП
Показатели связи водных ресурсов и социальной системы, C_6	Обладание водными ресурсами на душу населения (м^3 на 1 чел. ⁻¹), X_{36} Доля населения, пьющего безопасную воду (%), X_{37}	Среднее количество водных ресурсов за многие годы / общая численность населения Население, пьющее безопасную воду/общая численность населения
Показатели связи водных ресурсов и экономической системы, C_7	Водопотребление на единицу ВВП ($\text{м}^3 \cdot \text{CNY}^{-1}$), X_{38} Объем загрязненных вод на миллион выпускаемого ВВП ($\text{м}^3 \cdot 10^{-4} \text{ CNY}^{-1}$), X_{39}	Текущий региональный ВВП/общее водопотребление Объем загрязненной воды/текущий региональный ВВП
Показатели связи водных ресурсов и экосистем, C_8	Коэффициент превышения лимита воды (%), X_{40} Коэффициент дефицита воды (%), X_{41}	Объем чрезмерной эксплуатации ресурсов подземных вод/общий объем ресурсов подземных вод Общий объем дефицита воды в окружающей среде/общий объем водных ресурсов

Нами выбраны показатели для вычисления индекса нагрузки C_1 , которую может допустить система водных ресурсов, а также для социальной системы C_2 , экономической системы C_3 и экосистемы C_4 . В целях устойчивого развития общества и экономики необходимо, чтобы совокупная нагрузка на водные ресурсы не превышала допустимую нагрузку, т. е. $CCI \leq 1$.

При расчете CCI «вес» каждого показателя комплексной системы был определен на основе энтропийного подхода — путем фиксации значения «веса» на основе реального состояния общества, экономики, экологии и водных ресурсов, т. е. объективно.

Для интегральной системы экономики, общества, экологии и водных ресурсов степень упорядоченности для подсистем водных ресурсов, общества, экологии и экономики определена как $\bar{u}_k(\bar{e}_k)$, $k = 1, 2, 3, 4$, что является средним многолетним годовым значением для каждого региона. В итоге уравнение интегрального индекса принимает следующий вид в конкретный момент времени $t_{(r)}$ эволюционного процесса для очень сложной системы:

$$CHI_{t(r)} = \theta \sqrt[4]{\prod_{k=1}^4 [u_k(e_k) - \bar{u}_k(\bar{e}_k)]}, \quad CHI_{t(r)} \in [-1, 1],$$

$$\theta = \frac{\min_k [u_k(e_k) - \bar{u}_k(\bar{e}_k) \neq 0]}{\left| \min_k [u_k(e_k) - \bar{u}_k(\bar{e}_k) \neq 0] \right|}, \quad k = 1, 2, 3, 4.$$

Таблица 2

Нормативы комплексного показателя региональных ЕВО

CI	0,00–0,50	0,51–0,80	0,81–1,00	1,01–1,30	>1,30
Категория нагрузки	Минимальная	Оптимальная	Повышенная	Высокая	Сверхвысокая
Возможность использования	Водные ресурсы в избытке	Оптимальное использование водных ресурсов	Затрудненное использование водных ресурсов	Нехватка водных ресурсов	Острая нехватка водных ресурсов

Это означает, что чем больше значение индекса, тем более согласованно развивается сложная система, и наоборот. Интегральный индекс *СНИ* рассчитывается на основе четырех групп показателей (C_5, C_6, C_7, C_8), которые отражают отношения взаимосвязи подсистем в модели.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В качестве исходных данных для модели комплексной оценки ЕВО Китая взята соответствующая стандартизированная статистика за 2008 г. для 31 провинции. Результаты расчетов даны в табл. 3. Построены карты, показывающие пространственные закономерности дифференциации этих характеристик.

F_eI показывает пределы *экономической нагрузки* на региональные водные ресурсы. Чем больше значения индекса, тем бóльшую нагрузку экономического развития несет регион. Как показано на рис. 1, F_eI больше 1,0 в Нинся, Пекине, Тяньцзине, Хэбэе и Шаньси, т. е. водные ресурсы здесь использовались сверх региональной допустимой нагрузки. F_eI составлял 0,6–0,9 в Синьцзян, Ганьсу, Хэйлунцзян и Шаньдун, что указывает на то, что региональная ЕВО по этому показателю приближается к границе максимально возможной в этих провинциях. F_eI от 0,3 до 0,6 отмечен в Цзилинь, Ляонин, Внутренней Монголии, Хэнань, Аньхой, Чжэцзян и Цзянсу, т. е. региональные водные ресурсы еще допускают интенсификацию развития экономики. $F_eI < 0,3$ отмечен в большинстве провинций Цинхай-Тибетского нагорья, Юньнань-Гуйчжоуского плато, Юго-Западного, Центрального и Южного Китая. Следовательно, региональные ЕОВ настолько велики, что имеется большой потен-

Таблица 3

Оценка ЕВО для городов и провинций Китая

Территория	F_eI	F_pI	CCI	$СНИ$	$СW$
<i>Города</i>					
Пекин	0,932	0,981	7,18	0,60	1,603
Тяньцзинь	1,185	0,968	8,38	0,58	1,736
Хэбэй	1,192	1,554	8,37	0,18	1,274
Шаньси	0,954	1,114	7,96	0,25	1,272
<i>Провинции</i>					
Внутренняя Монголия	0,411	0,800	3,31	0,29	0,835
Ляонин	0,527	0,756	3,45	0,19	0,749
Цзилинь	0,307	0,616	3,16	0,21	0,674
Хэйлунцзян	0,637	0,612	1,91	0,20	0,620
Шанхай	0,545	0,638	2,41	0,62	0,932
Цзянсу	0,521	0,643	2,74	0,51	0,933
Чжэцзян	0,329	0,514	2,47	0,54	0,825
Аньхой	0,379	0,815	4,47	0,36	0,987
Фуцзянь	0,192	0,846	2,24	0,41	0,781
Цзянси	0,171	0,846	1,51	0,28	0,599
Шаньдун	0,658	1,074	6,60	0,28	1,170
Хэнань	0,592	1,236	5,23	0,38	1,220
Хубэй	0,262	0,801	2,98	0,36	0,829
Хунань	0,234	0,811	2,55	0,43	0,931
Гуандун	0,206	0,678	2,64	0,52	0,847
Гуанси	0,133	0,83	1,05	0,40	0,587
Хайнань	0,112	0,265	0,35	0,38	0,293
Чунцин	0,143	0,638	3,54	0,23	0,683
Сычуань	0,083	0,698	3,86	0,34	0,800
Гуйчжоу	0,089	0,668	1,11	0,28	0,490
Юньнань	0,065	0,627	0,66	0,32	0,418
Сицзан	0,08	0,033	0,27	0,53	0,143
Шэньси	0,278	0,837	3,91	0,35	0,914
Ганьсу	0,736	1,161	4,42	0,33	1,114
Цинхай	0,251	0,142	0,90	0,31	0,380
Нинся	1,123	1,345	8,57	0,44	1,669
Синьцзян	0,723	0,476	3,75	0,35	0,923

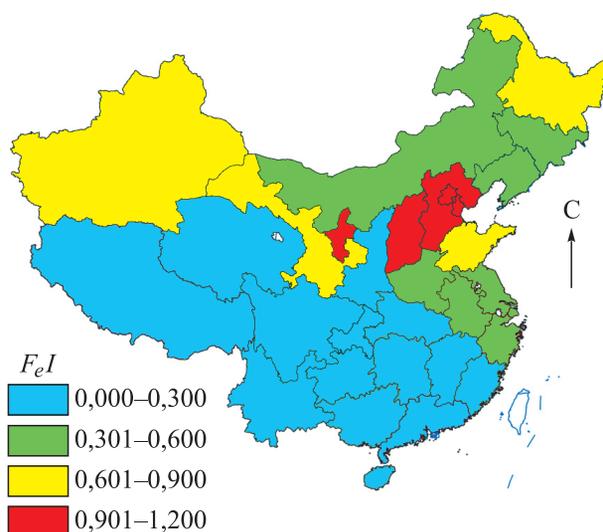


Рис. 1. Индекс экономической нагрузки на водные ресурсы в провинциях Китая.

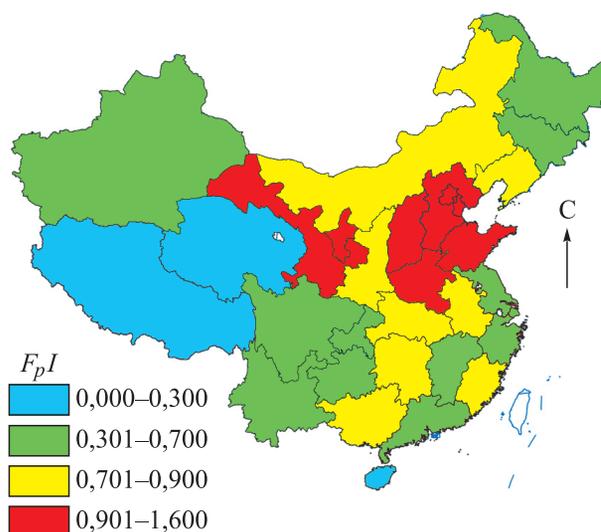


Рис. 2. Индекс демографической нагрузки на водные ресурсы в провинциях Китая.

циал для поддержки местного экономического развития. С другой стороны, это свидетельствует о том, что данные провинции были экономически отсталыми и водные ресурсы недостаточно использовались.

Чем выше индекс F_pI , тем с большей демографической нагрузкой сталкивается регион. Как показано на рис. 2, провинции, для которых F_pI был $>0,9$, в основном сосредоточены на Северо-Китайской равнине и в засушливом Северо-Западном регионе, например Ганьсу и Нинся. Для них характерны большая численность населения и нехватка водных ресурсов; фактически численность населения уже превысила масштабы, которые могут обеспечиваться региональными водными ресурсами. F_pI от 0,7 до 0,9 соответствует территориям Внутренней Монголии, провинциям Ляонин, Фуцзянь, Гуанси и провинциям Центрального Китая, где численность населения приближается к значению, при котором нагрузка на местные водные ресурсы максимальна. Индекс F_pI от 0,3 до 0,7 характерен для провинций Хэйлунцзян, Цзилинь, Синьцзян, Чжэцзян, Цзянсу, Гуандун и бассейна р. Сычуань и Юньнань-Гуйчжоуского плато, где водные ресурсы обеспечивают существующую численность населения. В областях Цинхай-Тибетского нагорья $F_pI < 0,3$, это указывает на то, что региональные водные ресурсы могут полностью обеспечивать относительно невысокую численность населения.

Индекс комплексной системы региональных водных ресурсов характеризует нагрузку, которую несет объединенная система общества, экономики, экосистемы и региональных водных ресурсов. Как показано на рис. 3, индекс $CCI < 2,0$ зарегистрирован на Цинхай-Тибетском нагорье, Юньнань-Гуйчжоуском плато, в провинциях Гуанси, Хайнань, Хэйлунцзян и Цзянси; это указывает на то, что региональные водные ресурсы не несут никакой существенной экономической и социальной нагрузки. CCI от 2,0 до 4,0 отмечен в западных засушливых районах, полупустынных провинциях, Внутренней Монголии, Северо-Восточном регионе, бассейне р. Сычуань, Восточном и Южном Китае, где нагрузка на водные ресурсы относительно велика. Средний показатель $CCI > 4,0$ характерен для Северо-Китайской равнины, провинций Нинся, Ганьсу и Аньхой. Это свидетельствует, что совместная экономическая и социальная нагрузка слишком велика для местных водных ресурсов этих территорий.

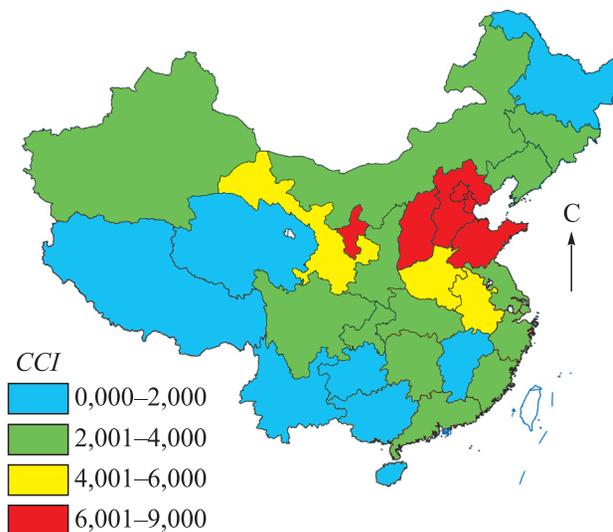


Рис. 3. Индекс нагрузки комплексной системы водных ресурсов в провинциях Китая.

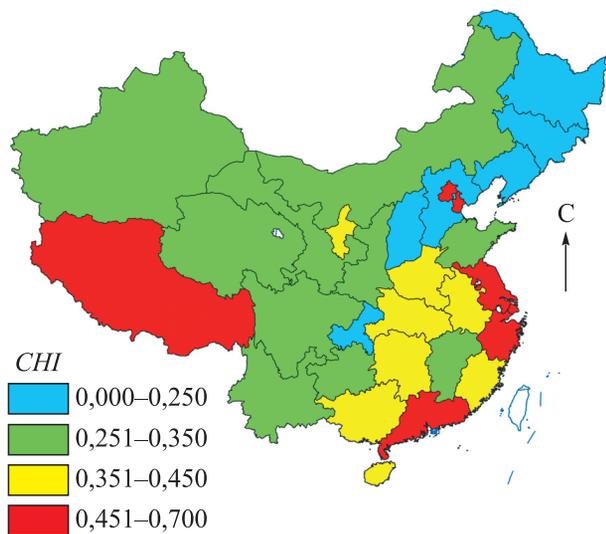


Рис. 4. Интегральный индекс комплексной системы водных ресурсов в провинциях Китая.

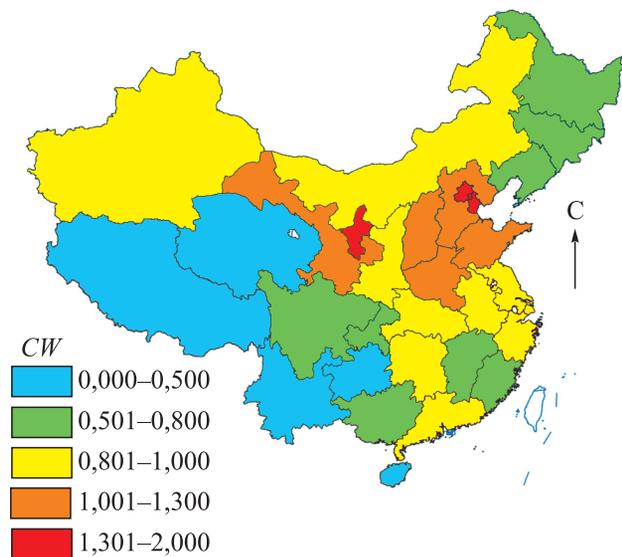


Рис. 5. Итоговый комплексный индекс оценки нагрузки на водные ресурсы в провинциях Китая.

CHI является интегральным индексом для общей системы региональной экономики, общества, экосистемы и водных ресурсов. Чем больше *CHI*, тем лучше организована эта система, т. е. водные ресурсы используются более эффективно. В 2008 г. использование водных ресурсов в большинстве провинций Китая было более согласованным (увеличен *CHI*), за исключением провинций Хэбэй, Шаньси на Северо-Китайской равнине, Чунцин и трех провинций Северо-Восточного Китая (рис. 4). Развитие этих регионов не было согласовано с наличием водных ресурсов, так как $CHI < 0,25$.

CCI от 0,25 до 0,35 относится к северо-западным засушливым и полусухим районам, а интегральный индекс использования водных ресурсов не препятствует росту экономики, поскольку эти регионы придают большое значение эффективности использования воды. Значения *CCI* от 0,35 до 0,45 отмечены в провинциях Фуцзянь, Гуанси, Хайнань, Аньхой, Нинся, Хэнань, Хунань и Хубэй. Водные ресурсы здесь способствуют гармоничному развитию экономики. *CHI* составил $>0,45$ в трех городах центрального подчинения (Пекине, Тяньцзине и Шанхае) и в некоторых развитых провинциях, таких как Цзянсу, Чжэцзян и Гуандун. Это показывает, хотя региональных водных ресурсов здесь становится все меньше и меньше, регионы стараются поддерживать высокие темпы роста экономики и одновременно ориентироваться на бережливое и эффективное использование водных ресурсов таким образом, чтобы интегральный индекс всегда был оптимальным.

В Тибете, в связи с медленно развивающейся экономикой и обильными запасами водных ресурсов, население и экономика не оказывали большого давления на систему водных ресурсов, и поэтому интегральный уровень использования воды здесь не относится к лимитирующим факторам.

Завершает анализ рассмотрение итогового комплексного индекса емкости водных объектов в провинциях Китая. Как показано на рис. 5, регионы с обильными водными ресурсами в основном сосредоточены на Цинхай-Тибетском нагорье и Юньнань-Гуйчжоуском плато, которые относятся к областям с избытком ЕВО, так как $CW < 0,5$. К районам с оптимальной ЕВО относятся провинции Хэйлунцзян, Гуанси, Цзянси, Сычуань и Чунцин в среднем течении р. Янцзы, Фуцзянь в Юго-Восточной прибрежной области и Северо-Восточной области, где $0,5 < CW < 0,8$.

Районы на грани перерасхода водных ресурсов ($0,8 < CW < 1,0$) включают Синьцзян, Внутреннюю Монголию, Гуандун, провинции центральной части Китая и Восточной прибрежной зоны, где водные объекты находятся в состоянии напряжения. $1,0 < CW < 1,3$ в провинциях Хэбэй и Шаньдун в Восточном Китае, Шаньси и Хэнань в Центральном Китае и Ганьсу в Западном Китае, где имеет место нехватка водных ресурсов. Эти регионы можно считать областями с легким перерасходом водных ресурсов. Города Пекин, Тяньцзинь и провинция Нинся в Западном Китае испытывают острую нехватку водных ресурсов, здесь для всех регионов $CW > 1,3$. Данные регионы принадлежат к областям с большим перерасходом водных ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование выявило основные факторы, которые влияют на водные ресурсы и определяют уровень их использования для каждой провинции Китая в настоящем и будущем. Как показали расчеты, в Китае размещение населения и разный уровень экономики не соответствуют пространственно-временному распределению водных ресурсов. Относительно большой водно-ресурсный потенциал в юго-западных провинциях может стать преимуществом для устойчивого экономического развития в будущем, при условии активизации усилий по исследованию водных ресурсов. В то же время экономически развитые регионы, например в бассейнах рек Янцзы и Жемчужной, а также в восточных прибрежных районах, лишены такого преимущества.

Острая нехватка водных ресурсов и перегрузка воздействия на них наблюдаются на Северо-Китайской равнине и в северо-западных провинциях, таких как Синьцзян, Нинся и Ганьсу. В этих регионах необходимо приспособлять структуру производства, внедрять современные технологии, активно создавать водосберегающие проекты и укреплять осознание водосбережения для повышения эффективности использования водных ресурсов. Для областей с острой нехваткой водных ресурсов (экологически уязвимых районов) следует принимать соответствующие меры для смягчения ухудшения состояния экосистем.

Экологическая емкость водных объектов приближается к границе истощения в городах и провинциях Северного Китая, таких как Пекин, Тяньцзинь, Хэбэй и Шаньси. Хотя интегральный уровень использования здесь сравнительно высок, нехватка водных ресурсов стала препятствием, сдерживающим социально-экономическое развитие. Расширение источников воды и сокращение ее расходования являются единственным способом увеличения пределов емкости водных объектов и допустимой нагрузки на водные ресурсы. Для этого разрабатываются проекты межбассейнового перераспределения водных ресурсов и опреснения морской воды с учетом благоприятного прибрежного местоположения этих территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Odum E. P.** Fundamentals of ecology. — Philadelphia: Saunders Press, 1972. — 741 p.
2. **Xu Z. M.** A scenario-based framework for multi-criteria decision analysis in water resources carrying capacity // Journ. of Glaciol. and Geocryol. — 1999. — 21(2):99–106 (in Chinese).
3. **Xu Z. M., Cheng G. D.** A study on the water resources carrying capacity by using the method of multi-objective optimization model—taking the Heihe River as an example // Journ. of Lanzhou Univer. (Natural Sci.). — 2000. — 36(2):122–132 (in Chinese).
4. **Wang H., Qin D. Y., Wang J. H. et al.** Study of carrying capacity of water resources in inland arid zone of Northwest China // Journ. of Natural Resources. — 2004. — 19(2):151–159 (in Chinese).
5. **Ruan B. Q., Shen J.** Calculate model for moderately bearing capacity of regional water resources // Journ. of Soil and Water Conservat. — 1998. — 4(3):57–61 (in Chinese).
6. **Gao Y. C., Liu C. M.** Limit analysis on the development and utilization of regional water resources // Journ. of Hydraulic Engineering. — 1997. — 29 (8):73–79 (in Chinese).
7. **Fu X., Ji C. M.** A Comprehensive evaluation of the regional water resource carrying capacity—application of main component analysis method // Resources and Environment in the Yangtze Basin. — 1999. — 8(2):168–173 (in Chinese).
8. **Xi Y. H., Jiang X. H., Huang Q. et al.** Research on evaluation index system for water resources bearing capacity // Bull. of Soil and Water Conservation. — 2000. — 21(1):30–34 (in Chinese).
9. **Zhu Y. Z., Xia J., Tan G.** A primary study on the theories and process of water resources carrying capacity // Progress In Geography. — 2003. — 21(2):180–188 (in Chinese).
10. **Min Q. W., Yu W. D., Zhang J. X.** Fuzzy-based evaluation of water resources carrying capacity and its application // Research of Soil and Water Conservation. — 2004. — 11(3):14–16 (in Chinese).

Поступила в редакцию 25 июля 2011 г.