

12. Cao Z., Dai M., Ennis W., Gan J., Feiyu R. Diagnosing CO₂ fluxes in the upwelling system off the Oregon-California coast // *Biogeosciences*, 2014. № 11. P. 6341-6354.
13. Feiyu R.A., Sabine C.L., J. Hernandez-Ayon M., Lawson D., Hales B. Evidence for upwelling of corrosive "acidified" water onto the Continental Shelf // *Science*, 2008. V. 320(5882). P. 1490-1492.
14. Hales B., Takahashi T., Bandaru L. Atmospheric CO₂ uptake by a coastal upwelling system // *Global Biogeochemical Cycles*, 2005. V. 19. GB1009, doi:10.1029/2004GB002295.
15. Namy K.E., DeGrunder M.D., Hales B. Aragonite saturation state dynamics in a coastal upwelling zone // *Geophysical Research Letters*, 2013. V. 40, P. 1-6, doi:10.1002/gpd.50460,
16. Jiao N., Zhang Y., Zhou K., Li Q., Dai M., Liu J., Guo J., Niang B. Revisiting the CO₂ "source" problem in upwelling areas – a comparative study on eddy upwelling in the South China Sea // *Biogeosciences*, 2014. № 11. P. 2465-2475.
17. Knox G.-D. *Biology of the southern ocean*. New York: CRC Press, 2006. 622 pp.
18. Kikindarov K.Ya., Karpiin V.F., Vartkov S.A. Global carbon cycle and climate change. Chichester, U.K.: Springer/Praxis, 2003. 372 pp.
19. Karpiin V.F. The estimation of the Retuvian current ecosystem by a mathematical model of biosphere. // *Ecological Modelling*, 1996. V.91. P. 1-14.
20. Karpiin V.F., Vartkov S.A. Biogeochemical cycles in globalization and sustainable development. Chichester, U.K.: Springer/Praxis, 2008. 562 p.
21. Lindzen R.S. Climate dynamics and global change // *Annual Review Fluid Mech.*, 1994. V. 26. P. 353-378.
22. Norman M., Ramirez S.R., Valgerston A., Soble E. Influence of coastal upwelling on the air-sea gas exchange of CO₂ in a Baltic Sea Basin // *Tellus B*, 2013. V. 65. <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v.65i0.21831>.
23. Rind D., Mucke P., Mendo J., Tsukajima I. The Retuvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. Instituto del Mar del Peru, 1987. 440 pp.
24. Rindler M., Eskin G., Le Borgne R. The western boundary of the equatorial Pacific upwelling: some consequences of climatic variability on hydrological and planktonic properties // *Journal of Oceanography*, 2000. V. 56. P. 463-471,
25. Rason G. Alvarez-Salgado X.A., Perez F.F. Carbon cycling in a large coastal embayment, affected by wind-driven upwelling: short-timescale variability and spatial differences // *Marine Ecology Progress Series*, 1999. V. 176. P. 215-230.
26. Uavala V., Makranton S. Simulation and assimilation of global ocean pCO₂ and air-sea CO₂ fluxes using ship observations of surface ocean pCO₂ in a simplified biogeochemical offline model // *Tellus B*, 2010. V. 62. P. 821-840.
27. Williams R.G., Follows M.J. Ocean dynamics and the carbon cycle. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2011. 434 pp.

КОИЧЕСТВО ПРОТИВ КАЧЕСТВА В КИТАЙСКОМ
ПРОЕКТЕ ПОВОРОТА РЕК С ЮГА НА СЕВЕР
СИСТЕМНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Ной Ян^{1,2}, Ли Юн³, Цингун Чжан⁴

// *Water* 2015, 7, 2142-2160; doi:10.3390/w7052142

Проект поворота рек с юга на север (SNWD) вошел в производственную стадию. Объекты инфраструктуры уменьшают дефицит воды и способствуют экономическому росту в Северном Китае, в то время как воздействия на окружающую среду предстоит еще полностью изучить. В данной статье сделан анализ взаимодействия между количеством и качеством воды с использованием системного динамического метода. В определенной провинции, охватывающей территории, которые предоставляют и получают воду, получены результаты моделирования для экономических и экологических индикаторов при различных уровнях переносимой воды и уровнях загрязнения. Из полученных данных можно сделать некоторые выводы. Во-первых, проект SNWD может поставить достаточно количество воды для экономического роста в принимающих регионах. Во-вторых, существует эффективное количество переносимой воды, которое демонстрирует ограничение роста как для сельского хозяйства, так и для водной депрессии⁴. В-третьих, повышение качества воды может заметно усилить количественный эффект и значительно способствовать экономическому росту. Для всех экономических видов деятельности существуют экологические ограничения. Поэтому количество и качество в равной степени важны в Проекте SNWD для обеспечения возможности для устойчивого развития.

Ключевые слова: Проект поворота рек с юга на север (SNWD), система динамического моделирования, количество воды, качество воды, ограничение роста.

1. Введение

Проект поворота рек с юга на север (SNWD) представляет собой инфраструктурный проект, предназначенный для отвода воды из южных рек, склонных к заторам, в северный регион Китая с дефицитом воды [1]. В соответствии с планом проекта, ежегодный объем отводимой воды составит 44,8 млрд. куб.м. Этот объем воды близок к общему объему воды в реке Хуанхэ⁵ (Желтая), которая является третьей по длине в Азии [2]. Хотя по-

¹ Идея поворота вода с юга на север была предложена основателем КНР Мао Цзэдуном в 1952 г.

² Факультет государственного управления при Юго-Восточном университете, Нанкин, e-mail: yangyu.seu@gmail.com

³ Школа экономики и управления при Юго-Восточном университете, Нанкин, e-mail: 101011694@seu.edu.cn.

⁴ Воронка депрессии – пониженная часть (в форме воронки) свободной или напорной или подземных вод, обусловленная отягчающей подземной водой.

⁵ Река Китая, одна из крупнейших рек в Азии, с общей длиной 5464 км и площадью бассейна 752000 км² которая берет свое начало в восточной части Тибетского нагорья и впадает в Желтое море.

риака 253 млрд. юаней (1 юань = 0,16 долл. США) было инвестировано в строительство [3]. Проект SNWD является возможным выбором для Северного Китая и остальных стран [4, 5]. Исследования уязвимости по пресной воде и динамики управления спроса и предложения указывают, что постепенно повышение водоснабжения в рамках проекта окажет помощь региону, чтобы он шел в ногу с развитием всей страны [6].

Подобно другим мета-проектам в Китае и мире [7, 8], однако, различия в оттоплении Проекта SNWD являются предметом непрерывных споров многочисленных заинтересованных сторон и исследователей [9-11]. Постоянными являются технологические, экономические, социальные, экологические и даже политические споры [12]. Треть провинций в Китае включена в проект, и более 200 млн. чел. будет получать выгоду от поворота рек, что сделает эту область деятельности больше, чем просто инфраструктурным проектом. Для обеспечения того, чтобы проект лучше служил целям домовладельцев, фирм и фермеров, в процессе споры особое внимание следует уделять базовым потребностям тех, кто окажется под воздействием проекта. Водоотребление можно интерпретировать с двух точек зрения: эффективного решения проблемы дефицита воды для водопользователей и эффективного удовлетворения потребностей в питьевой воде и воде не для питьевых целей. И наконец, должна быть достигнута модаль устойчивость управления водными ресурсами, которая будет гарантировать не только достаточное количество воды, но также и соответствовать определенному стандарту качества воды. Таким образом, проект переброски стока должен достичь одновременно целей по количеству и качеству воды, что является основным направлением этой статьи.

На протяжении десятилетий исследования по планированию и строительству инфраструктурного проекта SNWD были хорошо рассмотрены проблемы количества отводимой воды и соответствующих последствий [13, 14]. Тем не менее, для проекта, который фактически нарушает законы природы, косвенные воздействия переброски воды еще не были в достаточной мере обследованы. На стадии, предшествующей строительству, некоторые специалисты и эксперты проявляли интерес к неопределенности внешней среды, связанной с проектом [15, 16]. Кроме того, сотрудничеству между регионами препятствовала дееспособность основных заинтересованных [17]. Некоторые авторы предполагают, что конечной целью проекта SNWD является повышение качества водной среды, а не преодоление разрыва в спросе [12]. Издержки проекта SNWD включают воздействие дальнейшего ухудшения состояния окружающей среды вследствие быстрого отхода от сельского хозяйства [18]. Доказательства из расчетов виртуальной воды⁶ показывают, что Северный Китай ежегодно поставляют свыше 50 млрд. м³ виртуальной воды (что составляет более трети поставляемой воды) в Южный Китай. Большая часть потока виртуальной воды приходится на сельскохозяйственные продукты, и это приводит к стрессу для провинций, экспортирующих воду [19, 20]. Таким образом, перебрасываемая вода высокого качества исключительно важна для получающего региона, а также для поставщика, который является реальным получателем "воды". В декабре 2014 г. Председатель Си Цзиньпин призвал улучшить управление для защиты качества воды и ее экономики [21]. Со вступлением проекта SNWD в стадию формальной эксплуатации дис-

куссии должны быть посвящены анализу динамики развития. В этой статье, поэтому, рассматривается внутренняя связь между количеством и качеством воды в течение предшествующей стадии эксплуатации вместо исследования количества воды в период до строительства и в стадии строительства, как это описано в упомянутой литературе.

Что касается динамики количества и качества в проекте SNWD, то в данной работе сделана попытка дать ответы на некоторые не отвеченные вопросы. А именно, что важнее - количество воды или ее качество? Приведет ли акцентирование внимания на очистке воды от загрязнения к дополнительным издержкам и будет ли это компенсироваться ростом в некоторых регионах? Для достижения лучших знаний о потенциальных результатах исследователское сообщество должно применять для анализа математические модели. Были использованы типичные количественные методы для принятия решений и вычислим [6, 22, 23]. При использовании предложенных методов моделирования были получены выходные данные для различных условий для предоставления информации для сравнения и разработки дальнейшей стратегии. В большинстве предыдущих исследований две переменные, количество и качество воды, анализировались отдельно, что отчасти было результатом сложности экономико-социально-экологических аналитических рамок, а также с трудностью описания модели. С целью систематического определения характеристик внутренней связи воды и ее качества между количеством воды и ее качеством, в данной статье предложено использовать методологию системного динамического анализа для исследования взаимодействий и тенденций в проекте SNWD и обсуждаются последствия для устойчивого развития на основе результатов взаимодействия между количеством и качеством. Кроме того, эти данные могут помочь в проектировании исследований и использовании программных приложений для экологических уязвимых территорий в мире. Остальная часть статьи структурирована следующим образом. Сначала описываются изучаемая территория, методы моделирования и источники использованных данных. Затем с помощью хорошо продуманной системной динамической модели анализируются воздействия количества и качества воды в различных сценариях. Затем приводятся проверка результатов моделирования и прогнозирования и обсуждаются дальнейшие действия. В конце приводятся резюме исследования и представляются политические предложения для устойчивого управления водными ресурсами.

2. Методы и данные

2.1. Изучаемая территория

Проект SNWD включает в себя систему из трех каналов, восточного, центрального и западного. В результате различных биологических условий и социально-экономических характеристик [24], в одном исследовании не возможно охватить всю систему. Среди трех каналов западный канал, который является бурить через Тибетское нагорье, для отвода воды из реки Хуанхэ, является самым сложным, и работы по нему находятся еще в стадии планирования [25, 26]. Поэтому на рис. 1 он не изображен точно. Центральный канал представляет собой закрытую систему, в которой вода прокачивается через каналы, трубопроводы или туннели (например, под рекой

⁶ Виртуальная вода – объем воды, заключенной в продовольственных или других продуктах, необходимым для их производства.