

# Потенциал систем GIS и технологий дистанционного зондирования для управления подземными водами на трансграничных территориях в Китае

Чжу Жуньчу

Санкт-Петербургский горный университет  
императрицы Екатерины II

zhurunchu1128@163.com

Ю. А. Кораблев

Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет  
«ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина)

juri.korablev@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассматривается потенциал ГИС-технологий для управления водными ресурсами. Особое внимание уделяется применению этих технологий для управления подземными водами в приграничных районах Китая, России, Монголии и Казахстана, где ГИС могут осуществлять мониторинг, анализ и визуализацию данных о подземных водах в режиме реального времени, тем самым повышая эффективность управления ресурсами подземных вод и принося значительную пользу в решении вопросов охраны и использования подземных вод.

**Ключевые слова:** подземные воды, трансграничные подземные воды, GIS, технология дистанционного зондирования, управленческий потенциал

## I. ВВЕДЕНИЕ

Подземные воды – один из важнейших природных ресурсов, хранящийся в подземных геологических формациях в ключевых зонах земной коры [1]. С развитием экономики подземные воды широко используются и являются наиболее добываемым веществом, обеспечивая питьевой водой почти половину населения Земли. Подземные воды как источник водоснабжения, важнейший минеральный и геополитический ресурс, часто являются единственным незагрязненным источником питьевой воды хорошего качества в условиях ухудшения качества поверхностных вод [2]. Подземные воды нуждаются в мониторинге и управлении, чтобы защитить их от загрязнения и чрезмерного использования.

Однако загрязнение и чрезмерная эксплуатация ресурсов подземных вод приводят к оседанию грунта, что негативно сказывается на защите экологической среды и стабильном экономическом развитии, в том числе в государствах водоносного горизонта.

Управление подземными водами трансграничных водоносных горизонтов представляет собой сложную задачу из-за скрытой природы подземных вод и их сложного взаимодействия с поверхностными водами, их распределения в разных странах, а также ограничений, связанных с национальными границами и национальными правовыми системами [3].

В связи с растущим дефицитом воды управление трансграничными водоносными горизонтами в последние годы стало одним из центральных вопросов, и ситуация становится все более критической, особенно в странах с дефицитом воды. В этом контексте применение и инновации ГИС-технологий особенно важны для управления трансграничными подземными водами. Благодаря использованию систем GIS мы можем получать и анализировать данные мониторинга подземных вод в режиме реального времени и иметь четкое представление об изменениях в подземных водах и условиях эксплуатации, чтобы более эффективно управлять трансграничными водоносными горизонтами и обеспечивать их устойчивое использование, что имеет большое значение для разрешения споров о водных ресурсах.

## II. СИСТЕМЫ GIS И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Географическая информационная система (GIS) – это сложная пространственная информационная система, предназначенная для сбора, хранения, изучения, анализа, управления и отображения географически значимой информации. Система опирается на передовое компьютерное оборудование и программное обеспечение для сбора и обработки пространственных данных о географическом распределении на земной поверхности, которые в дальнейшем используются для изучения пространственного расположения различных географических событий и явлений, а также их соответствующих атрибутов. Система GIS не только хранит и управляет собранными данными, рассчитывает, анализирует и описывает их, но и визуализирует и отображает информацию, что делает географическую информацию более интуитивной и легкой для понимания.

Функция GIS технологий в основном заключается в комплексном сборе информации о данных, эффективном управлении и глубоком анализе, а затем выводе соответствующей информации. Кроме того, GIS технология обладает способностью своевременно обновлять информационные данные и создавать мощную пространственную информацию. В то же время GIS технология может эффективно объединять информацию о данных и геологические модели, что

способствует реализации эффективного динамического прогнозирования. В условиях быстрого развития современной науки и техники GIS технология опирается на поддержку спутниковых технологий дистанционного зондирования и компьютерных технологий, что может обеспечить достоверность и точность собранных данных и предоставить надежную справочную основу для принятия решений [4].

Благодаря быстрому развитию компьютерных технологий, моделирование, необходимое для управления водными ресурсами, также прогрессирует [5].

В настоящее время технология GIS особенно важна в области гидрогеологических исследований и управления ресурсами подземных вод. Компьютерные системы используются для анализа данных спутникового дистанционного зондирования, для получения данных о ресурсах подземных вод с помощью датчиков на спутниках или самолетах для сбора наземной информации с расстояния. Такой подход является более масштабным и эффективным, чем традиционный наземный мониторинг, и может обеспечить более эффективную поддержку принятия решений по управлению ресурсами подземных вод. На фоне растущей глобальной напряженности в области водных ресурсов технология GIS имеет огромное значение для всестороннего развития, использования и комплексной защиты водных ресурсов, обеспечивая мощную поддержку нашей среде обитания и будущему развитию.

### III. РАССМОТРЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫМИ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

Устойчивое развитие трансграничных бассейнов требует сотрудничества и оперативных договоренностей по управлению водными ресурсами между прибрежными странами [6].

Применение GIS технологии в управлении ресурсами подземных вод в основном направлено на планирование и проектирование, предотвращение загрязнения, развитие и использование. Поэтому после зонирования ресурсов подземных вод GIS технологии могут быть использованы для создания научного и эффективного режима управления, визуального представления распределения ресурсов подземных вод и динамической тенденции объема подземных вод, а также создания модели управления водными ресурсами в режиме реального времени, чтобы повысить эффективность управления водными ресурсами и принятия решений, а также достичь цели рационального использования.

Управление ресурсами подземных вод и их охрана – очень сложная задача, особенно в приграничных районах, где соседние государства совместно эксплуатируют водоносные горизонты [7].

**С Россией.** Город Цзямусы расположен на китайской стороне трансграничного водоносного горизонта между Россией и Китаем в Хэйлуцзян-Амурском бассейне, и ресурсы подземных вод составляют основную долю ресурсов пресной воды в регионе Цзямусы. Подземные воды являются основным источником питьевой, оросительной и промышленной воды в регионе.

Основным противоречием в совместном управлении подземными водами с Россией является разница в направлении управления. В связи с большой численностью населения и дефицитом воды в Китае акцент делается на рациональном освоении и использовании подземных вод. Россия занимает первое место в мире по общим запасам поверхностных и подземных вод [8], а ее водные ресурсы в основном сосредоточены в обширном и малонаселенном Сибирском регионе [9]. Российские регионы, с другой стороны, более склонны к охране качества ресурсов подземных вод.

Информационная технология GIS для подземных вод позволяет получать данные мониторинга подземных вод в режиме реального времени, визуализировать и статистически анализировать их. Эта технология может установить взаимосвязь между мониторинговыми скважинами, уровнем и качеством воды, а также понять изменения и состояние эксплуатации подземных вод. В то же время она может статистически и наглядно отображать показатели загрязнения, превышающие норму, делать обратные выводы на основе тенденции распространения загрязняющих веществ, определять источник загрязнения и проводить эффективное различие между естественным и антропогенным загрязнением. Это обеспечивает визуальную поддержку для точного управления загрязнением подземных вод, что имеет большое значение для управления ресурсами подземных вод в приграничной зоне между Китаем и Россией, соответствует общим потребностям и целям Китая и России в управлении ресурсами подземных вод, и позволит эффективно разрешить противоречия, связанные с различиями в направлениях двух стран в управлении подземными водами.

**С Монголией.** Водные ресурсы Монголии распределены крайне неравномерно: на озеро Кусугул на севере страны приходится 68 процентов запасов пресной воды. Южная часть Монголии граничит с Китаем. Это важная металлогеническая провинция мира и один из трех крупнейших в мире металлогенических поясов порфировой меди (золота, молибдена) [10]. Район китайско-монгольской границы стал горячей точкой для изучения и разведки международными учеными из-за его превосходных металлогенических геологических условий и огромного ресурсного потенциала [11].

Большое количество горных разработок и горно-технического строительства привело к высокой нагрузке на добычу подземных вод в районе китайско-монгольской границы, и рациональное планирование мест добычи воды способствует снижению нагрузки на добычу подземных вод.

В процессе разработки минеральных ресурсов чрезвычайно важна гидрогеологическая разведка района добычи, которая включает в себя оценку гидрогеологических условий района добычи и оценку риска для водной среды.

Система GIS и технология дистанционного зондирования показывают поле потока подземных вод и перенос подземных масс в четырехмерной визуализации, объединяя результаты численного моделирования подземных вод.

Для рационального использования подземных вод эта информация может помочь нам понять направление и скорость подземного потока, а также концентрацию и распределение растворенных веществ в подземных водах. С помощью этой информации можно выбрать точку забора, которая не вызовет чрезмерного давления на систему подземных вод, а система GIS может анализировать и прогнозировать будущие изменения подземных вод для рационального планирования и управления водными ресурсами.

Для строительства горнообогатительных объектов в сочетании с анализом качества воды и оценкой влияния конкретных элементов подземных вод на инженерное строительство, таких как величина pH, коррозионный характер подземных сооружений и т. д., предупредить неблагоприятные геологические факторы, дать обоснованные предложения по инженерному строительству, помочь в выборе инженерных площадок, и обеспечить научную основу для рационального использования минеральных ресурсов и охраны окружающей среды.

**С Казахстаном.** Казахстан стал первой страной, достигшей консенсуса в отношении политики Китая «Пояс и путь», и неурегулированность вопроса использования водных ресурсов трансграничных рек неизбежно поставит под угрозу укрепление политического доверия и негативно скажется на эффективности инициативы «Пояс и путь».

В соответствии с существующим двусторонним сотрудничеством по водным ресурсам трансграничных рек между Китаем и Казахстаном, Совместная комиссия по трансграничным рекам является основным механизмом сотрудничества, который представляет собой базовую основу для политического и дипломатического диалога и сотрудничества. Однако сфера сотрудничества ограничивается обменом информацией, совместным мониторингом и другими низкоуровневыми уровнями, либо установлением ограничений или определением конкретных рамок вопроса, таких как обмен информацией, совместные исследования по определенной теме или решение о реализации конкретного проекта [12].

Данные или продукты, находящиеся в открытом доступе, предоставляют возможности для поддержки управления трансграничными водными ресурсами [13, 14].

С точки зрения совместного управления трансграничными водоносными горизонтами Китая и Казахстана, открытое использование данных, полученных с помощью технологии дистанционного зондирования, полезно для повышения взаимного доверия между двумя сторонами.

Технология дистанционного зондирования может быть использована для дальнейшей оценки наличия и использования ресурсов подземных вод, а также для оценки влияния будущих планов развития трансграничных бассейнов. Открытый доступ к данным дистанционного зондирования обеспечивает прозрачность по сравнению с традиционными измерениями. Характеристики данных дистанционного

зондирования помогают наладить диалог в управлении трансграничными водами.

Систему мониторинга подземных вод, особенно на трансграничных территориях, необходимо оборудовать дистанционными автоматическими датчиками положения уровней подземных вод. Это позволит вести наблюдение с высокой точностью в режиме онлайн и принимать соответствующие решения по управлению производительностью действующих водозаборов. Такой же системой дистанционного управления отбора проб воды необходимо оборудовать все действующие водозаборы, включая одиночные скважины.

Цифровизация системы управления действующими водозаборами и, что очень важно системой мониторинга в целом на трансграничных территориях, позволит оптимизировать задачу управления ресурсным потенциалом подземных вод.

Система онлайн контроля также позволит принимать оперативное решение в случае выявления техногенного или природного загрязнения основных питьевых пресных водоносных горизонтов. В районе с активной горной промышленностью такой подход особо актуален в связи с высокими рисками истощения или загрязнения ресурсного потенциала подземных вод [15, 16].

В целом, система цифрового регулирования также позволит спроектировать и разместить мониторинговые наблюдательные скважины в районах трансграничной деятельности, исходя из реально существующей картины по добыче подземных вод. Именно грамотное расположение наблюдательных скважин на трансграничной территории должно являться базовой функцией при создании единой концепции управления трансграничными водными ресурсами на межгосударственном уровне.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная статья посвящена применению географической информационной системы (GIS) технологии в управлении трансграничными ресурсами подземных вод. На примере трансграничного управления ресурсами подземных вод между Китаем и Россией, Китаем и Монголией, Китаем и Казахстаном в статье рассматривается, как GIS технология может способствовать эффективному управлению ресурсами подземных вод, повысить эффективность управления водными ресурсами и принятия решений, а также достичь цели рационального использования ресурсов подземных вод. Кроме того, в статье подчеркивается важность GIS технологий для поддержки политики «Пояса и пути», развития сотрудничества в области трансграничных водных ресурсов, укрепления взаимного доверия между двумя странами и оценки воздействия будущих планов развития трансграничных бассейнов.

Технология GIS играет ключевую роль в управлении ресурсами подземных вод, особенно в управлении трансграничными водными ресурсами. Она облегчает сбор и анализ данных, планирование и принятие решений, а также мониторинг и оценку. Использование данных дистанционного зондирования и открытый доступ к ним могут повысить прозрачность и диалог в

управлении трансграничными водными ресурсами. Однако, несмотря на эти преимущества, существуют и проблемы, такие как различия в направлениях управления и необходимость совместного использования и управления ресурсами. Поэтому необходимо продолжать исследования и совершенствовать применение GIS технологии с дистанционным зондированием для более эффективного управления водными ресурсами, а ее применение имеет потенциал для поддержки сотрудничества в управлении трансграничными бассейнами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Fitts C.R. Groundwater science (Elsevier, 2002).
- [2] Hunt M., Marandi A., Retike I. Water Balance Calculation for a Transboundary Aquifer System between Estonia and Latvia. *Water* 2023, 15, 3327. <https://doi.org/10.3390/w15193327>
- [3] Albrecht Tamee & Varady Robert & Zuniga-Teran Adriana & Gerlak Andrea & Staddon Chad. (2017). Governing a shared hidden resource: A review of governance mechanisms for transboundary groundwater security. *Water Security*, 2. 10.1016/j.wasec.2017.11.002.
- [4] Qian Lili. Research on the application of GIS in the field of hydrology and water resources[J]. *New Agriculture*, 2021, (15):69-70.
- [5] Yahya B.M., Ahmed K.A., & Salih A.M. (2023), Water Resources Management and Applications using GIS: An Overview. In: *Engineering and Technology Quarterly Reviews*, Vol.6, No.1, 65-73. ISSN 2622-9374, DOI: <https://www.asianinstituteofresearch.org/>
- [6] Bernauer Thomas & Böhmelt Tobias. (2020). International conflict and cooperation over freshwater resources. *Nature Sustainability*, 3. doi:10.1038/s41893-020-0479-8.
- [7] Golovina Ekaterina & Shchelkonogova Olga. (2023). Possibilities of Using the Unitization Model in the Development of Transboundary Groundwater Deposits. *Water*, 15, 298. 10.3390/w15020298.
- [8] Безруков ЛА, Гагаринова ОВ, Кичигина НВ, et al. Водные ресурсы Сибири: Состояние проблемы и возможности использования [J]. *География и Природные Ресурсы*, 2014, (4):30-41.
- [9] WANG Ping, WANG Tianye, WANG Guan, ZHANG Xuejing, LI Zehong, Bezrukov L.A.. Spatial distribution and potential exploration of water resources in Siberia[J]. *Resources Science*, 2018, 40(11): 2186-2195 <https://doi.org/10.18402/resci.2018.11.05>
- [10] NIE Lan-shi, LIU Han-liang, LI Jiang-peng, FAN Yu, CHI Qing-hua, LIU Dong-sheng, ZHOU Yi-ning, WANG Xue-qiu. Regional Geochemistry and Distribution of Anomalies Related to Potential Copper Mettallogic Areas in China–Mongolia Border Region[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2020, (6): 851-860. doi: 10.3975/cagsb.2020.070901
- [11] Liu Hanliang, Nie Lanshi, Shojin Davaa, Wang Xueqiu, Chi Qinghua, Wang Lijun, 2022. Regional Geochemical Distribution and Controlling Factors of Lithium in the Sino-Mongolia Border Areas. *Earth Science*, 47(8): 2795-2808. doi: 10.3799/dqkx.2022.054
- [12] Zheng C. (2021). Sino-Kazakhstan transboundary water allocation cooperation study: analysis of willingness and policy implementation. *Water International*, 46(1), 19–36. <https://doi.org/10.1080/02508060.2021.1871718>
- [13] Golovina E.I., Khloponina V.S. Problems of modern legislation in the sphere of underground waters extraction management, *Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2020, (1), pp. 106–114. <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2020-1-106-114>
- [14] Yury I., Martirosyan A. The development of the sodberg electrolyzer electromagnetic field's state monitoring system. *Sci Rep* 14, 3501 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52002-w>
- [15] Golovina E.I., Tselmeg B. Cost estimate as a tool for managing fresh groundwater resources in the Russian Federation. *Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2023, №4 a, 81–91
- [16] Golovina E.I., Grebneva A.V. Management of groundwater resources in transboundary territories (on the example of the Russian Federation and the Republic of Estonia) // *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 252. p. 788-800. DOI: 10.31897/PMI.2021.6.2
- [17] Golovina E.I., Grebneva A.V. (2022). Features of groundwater resources management in the transboundary territories (on the example of the Kaliningrad region). *Geology and Mineral Resources of Siberia*: 4: 85–94. <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2022-4-85-94>