

АДАПТАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ К УСЛОВИЯМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Цзин Ч., магистрант

Научный руководитель Бельская Г.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В статье систематизированы междисциплинарные исследования о роли гидросферы, её свойствах, функциях, влиянии изменения климата на водные ресурсы мира и стратегиях адаптации, что критически важно для устойчивого развития и эффективного управления происходящими процессами.

Ключевые слова: гидросфера, пресноводные ресурсы, изменение климата, экосистемный подход, управление водными ресурсами, адаптация.

Гидросфера – это совокупность всех форм воды на Земле в жидком, твёрдом и газообразном состояниях. Это динамичная оболочка, взаимодействующая с атмосферой, литосферой и биосферой, влияющая на глобальный энергетический баланс, климат и рельеф. Общий объём воды на Земле составляет 1,386 млрд км³, при этом пресная вода составляет всего 2,5%, из них 68,7% заморожено в ледниках, 30,1% составляют подземные воды, легко доступные поверхностные пресные воды – менее 1,2% [1].

Современное глобальное потепление ускоряет круговорот воды в окружающей среде, поскольку атмосфера удерживает на 7% больше влаги на каждый °С потепления, усиливая водный режим территорий по принципу - «влажные - влажнее, сухие - суше» [2]. Растёт частота экстремальных наводнений и засух. Деградация криосферы (ледники, вечная мерзлота) изменяет сток рек, высвобождает парниковые газы (метан, оксиды азота) и другие загрязнители [3]. Повышение температуры поверхностных вод понижает концентрацию растворённого кислорода, что усиливает размножение сине-зеленых водорослей, приводя к автотрофикации водоемов. Повышение уровня морей и океанов вызывает засоление прибрежных водоносных горизонтов [1,4].

Климатическое потепление приводит к интенсивному таянию ледников в Гренландии, Антарктиде и Гималаях и повышению уровня моря, что создает угрозу водной безопасности [3]. Глобальное перепотребление подземных вод истощает крупные водоносные горизонты в мире (Северо-Китайская равнина, штат Калифорния США, Индия), вызывая проседание грунта и инвазию морской воды [2,5,6].

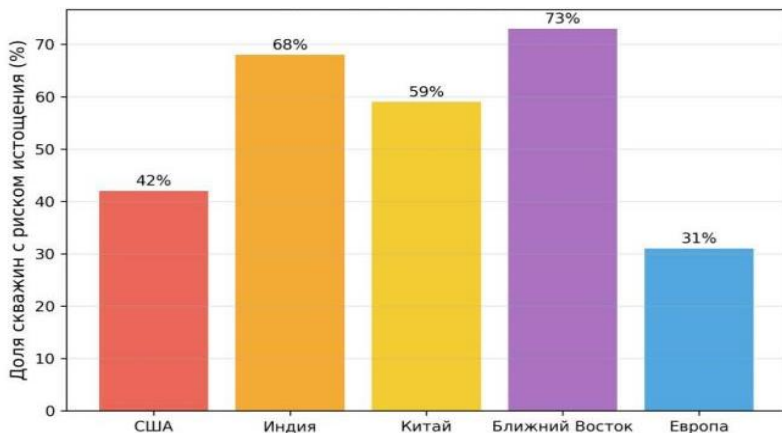


Рисунок 1 – Глобальный риск высыхания подземных водных скважин

Критическая ситуация сложилась на Ближнем Востоке, Индии и Китае, где доля скважин с высоким риском истощения пресной воды в 2021 г. составила 48% - 73%. Относительно благополучное положение сохраняется в Европе, где этот показатель составил меньше трети от количества действующих скважин. В настоящее время разработана и доминирует концепция «планетарных границ», которая включает использование пресной воды как ключевого лимитирующего фактора, с учетом экспоненциального роста численности людей (Рисунок 2).

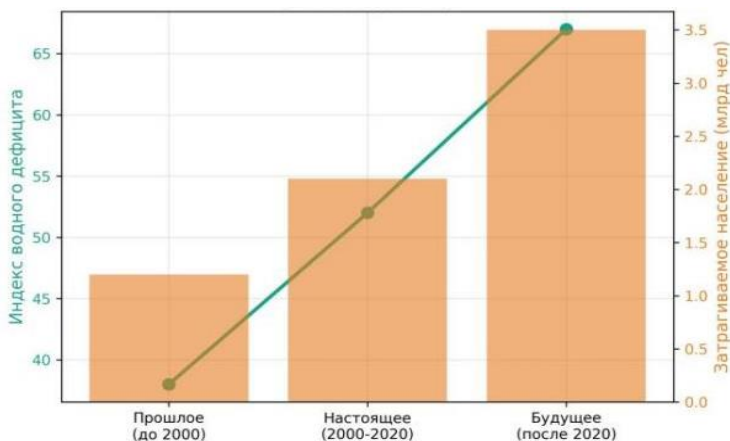


Рисунок 2–Оценка водного дефицита: прошлое, настоящее, будущее

Как видно из Рис.2, индекс водного дефицита в настоящее время составляет 0,52. При сложившейся демографической ситуации, этот показатель может возрасти до 0,75 к 2040 г. Эта концепция подчёркивает необходимость устойчивого управления ресурсами «голубой» и «зелёной» воды [1] по странам мира, с учетом теории лимитирующих факторов.

Управление водными ресурсами в Китае

1) *Водопользование и эффективность.* В 2021–2025 гг. общий объём водопользования в Китае стабилизировался на уровне 610 млрд м³. В 2024 г. он составил 592,8 млрд м³ [7]. Эффективность водопользования за этот период выросла: удельное потребление на ВВП снизилось на 17,7% (по сравнению с 2020 г.), с.-х. коэффициент достиг 0,580 [8]. Эта положительная тенденция достигнута благодаря проводимым мероприятиям по управлению водными ресурсами.

2) *Политика и система управления водопользованием* состоит в строжайшем управлении водными ресурсами с «тремя красными линиями»: контроль объёма запасов пресной воды, эффективность использования на разные цели, контроль уровня загрязнения [9]. С 2024 г. действует «Положение об экономии воды» [7]. Реализуется принцип «четыре определения по воде» - для урбанизированных территорий, сельскохозяйственных угодий, жилищно-коммунального потребления, промышленного производства. Вышеописанная модель полностью реализована и функционирует в провинции Нинся [9].

3) Борьба с пере-эксплуатацией подземных вод

Северо-Китайская равнина – это регион с критическим истощением подземных вод: за 1959–2020 гг. перепотребление здесь составило 162,5 км³ [6]. Выполнение мер по «экономии, контролю, замене, пополнению, управлению» с использованием вод из проекта «Юг-Север» остановили деградацию, восстановив уровни грунтовых вод в мегаполисах Пекине, Тяньцзине и Хэбэе [6]. Остаются существенными вызовы в виде климатической неопределённости и некоторых нерешенных инфраструктурных пробелов.

4) Национальная водная сеть

Выполнение стратегического проекта «Юг-Север» обеспечило более равномерное распределение водных ресурсов в южной и северной частях Китая. По линиям проекта перебросили более 87 км³ воды, обеспечив 195 млн человек питьевой водой необходимого качества [7]. Развивается интеллектуальная водохозяйственная система на основе цифровых двойников [10].

Таким образом, глобальное потепление климата существенно нарушает гидрологические системы, угрожая количеству и качеству пресных вод^[11] Стратегии адаптации водных объектов должны базироваться на экосистемно

ориентированные решения, включая восстановление болот и лесов [4], с использованием бассейнового подхода в регулировании речных стоков. Водоохранные мероприятия должны включать интегрированное управление, т.е. сочетание технических (инженерных) и организационных мер, трансграничное сотрудничество и системы раннего предупреждения [4, 9].

Литература

1. Liu J. et al. Оценка дефицита воды в прошлом, настоящем и будущем. *Earth's Future*. 2017. 5(6). 545–559.
2. Famiglietti J.S., Ferguson G. The hidden crisis beneath our feet. *Science*. 2021. 372(6540). 344–345.
3. Hugonnet R. et al. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature*. 2021. 592(7856). 726–731.
4. Du J. et al. Groundwater depletion in Северо-Китайская равнина: проблемы и решения. *Water*. 2024. 16(2). 354.
5. Rockström J. et al. Safe and just Earth system boundaries. *Nature*. 2023. 619(7968). 102–111.
6. Дин Юэюань и др. Концепция комплексного управления истощением подземных вод Северного Китая. *Китайская гидротехника*. 2020. 13. 22–25.
7. Ван Гоцин и др. Пространственно-временная эволюция водных ресурсов Китая за 2015–2024 гг. *Прогресс в водных науках*. 2025. 36(6). 949–958.
8. Ма Хайлян и др. Влияние новой производительности на эффективность водопользования. *Наука о ресурсах*. 2025. 47(3). 485–500.
9. Ван Хао и др. Стратегия «четырёх определений по воде» для северных регионов. *Жёлтая река*. 2025. 47(2).
10. Ван Цзяньхуа, Лу Чуюй. Техническая система управления истощением подземных вод Северного Китая. *Китайская гидротехника*. 2020. 13. 19–21.
11. Сю Цзюцзюнь и др. Экологическая эффективность центральной линии проекта «Юг-Север». *Журнал института*. 2025. 42(9). 34–41.