

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 504.4.062(54)

ВОДНЫЙ КРИЗИС ИНДИИ: НЕКСУСНО-РЕГИОНАЛЬНАЯ КОНЦЕПЦИЯ РЕШЕНИЯ

© 2023 г. Г. В. Сдасюк^а, *, Н. Н. Алексеева^б, **

^аИнститут географии РАН, Москва, Россия

^бГеографический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*e-mail: galsdas@bk.ru

**e-mail: nalex01@mail.ru

Поступила в редакцию 08.08.2022 г.

После доработки 20.10.2022 г.

Принята к публикации 21.02.2023 г.

В Индии, которая в 2023 г. заняла первое место в мире по численности населения, быстрое технологическое-экономическое развитие сочетается с усилением дефицита природных ресурсов, особенно остро проявляющегося в недостатке водных ресурсов. Увеличение объемов водопотребления (около 90% воды идет на нужды ирригации), усиление конкуренции за водные ресурсы со стороны сельского хозяйства, энергетики, промышленности, урбанизации и др. требуют перехода от секторного управления водопользованием к управлению на основе концепции нексуса — сцепления связей секторов. Центральным выступает нексус “вода—энергия—продовольствие”, который стал активно изучаться с начала 2010-х годов. Разрабатываемая новая редакция Национальной водной политики Индии фокусируется на задачах развития нексуса, включая более тесные связи между секторальными программами и планами развития. В статье на основе обзора научных публикаций, критического анализа прогнозов и сценариев, использования баз статистических данных выявлены основные взаимосвязи между звеньями нексуса “вода—энергия—продовольствие”. Установлены наиболее острые проблемы рационализации использования водных ресурсов на уровне страны, отдельных штатов и крупных речных бассейнов (проект “Чистый Ганг”). Рассмотрены принимаемые в Индии технологические и управленческие решения, нацеленные на преодоление проблем водопользования на основе нексусного подхода. Новой движущей силой выступает ускоренное развитие возобновляемых источников энергии. Проблемы нексуса “вода—энергия—продовольствие”, которые усложняются в условиях изменений климата, могут успешно решаться только в контексте интегрального регионального развития.

Ключевые слова: Индия, дефицит водных ресурсов, водопользование, энергетика, сельское хозяйство, продовольственная проблема, взаимосвязи, социально-экономическое развитие

DOI: 10.31857/S2587556623030093, **EDN:** QSPVSU

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Индия — страна с высокими темпами роста экономики (от 6.5 до 8.4% в 2021/22 финансовом году, оценка) и продолжающимся демографическим взрывом¹. В 2023 г. страна заняла первое место по численности населения, а к 2050 г. она может достигнуть 1.7 млрд чел. При ограниченных запасах природных ресурсов Индия столкнулась с обострением водного дефицита, переходящим в водный кризис. В Докладе Национального института трансформации Индии (НИТИ Айог) констатируется, что страна страдает от худшего в истории водного кризиса, угрожающего жизни миллионов людей. 86% поверхностных и подзем-

ных источников воды загрязнены. Почти половина населения (600 млн чел.) испытывает чрезвычайный водный дефицит, около 200 тыс. чел. ежегодно умирают из-за неочищенной воды².

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы составляют 1911 км³, из которых используется, по оценкам ФАО, около 40% (761 км³)³. Свыше 90% расходуется на нужды сельского хозяйства (при среднемировом уровне 70%). При сохранении современных тенденций потребности воды в 2030 г. вдвое превысят ее обеспечение, что приведет к

² https://www.business-standard.com/article/economy-policy/india-facing-worst-water-crisis-millions-of-lives-under-threat-niti-aayog-118061400997_1.html (дата обращения 07.05.2022).

³ <https://tableau.apps.fao.org/views/ReviewDashboard-v1/country-dashboard?%3Aembed=y&%3AisGuestRedirectFromVizportal=y> (дата обращения 21.09.2022).

¹ <https://www.imemo.ru/publications/relevant-comments/text/india-2022-economic-growth-marked> (дата обращения 15.05.2022).

потере 6% ВВП. Водный дефицит усиливается в городах: 21 крупнейший мегаполис, включая столицу Дели, приближаются к исчерпанию ресурсов подземных вод.

Для снижения остроты водохозяйственной ситуации предпринимаются различные меры. С 2002 г. реализуется грандиозная программа создания единой водной системы за счет переброски стока гималайских рек в полуостровную часть. Она позволит увеличить площадь орошаемой пашни и уменьшить остроту экологических проблем водопользования — прежде всего, обмеления рек в сухой сезон и истощения вековых запасов подземных вод (Алексеева, 2017). С 2019 г. разрабатывается новая Национальная водная политика Индии. Три предыдущих версии (1987, 2002, 2012 гг.) не привели к каким-либо заметным улучшениям в управлении водными ресурсами (Pandit and Biswas, 2019). Министерство Джалшаки (*хинди*, Министерство водной энергии) учредило комитет экспертов по подготовке современного варианта водной политики. Ее цель — “оптимизация использования водных ресурсов в соответствии с ключевыми изменениями структуры управления водопользованием и основами регулирования”⁴.

Увеличение объемов водопотребления в Индии и рост конкуренции за водные ресурсы со стороны сельского хозяйства, энергетики, промышленности, коммунально-бытового водоснабжения требуют перехода от секторного управления водопользованием к управлению на основе концепции нексуса (*лат.*, связь, сцепление связей). Центральным выступает нексус “вода—энергетика—продовольствие” (ВЭП). Учет взаимозависимости его звеньев в региональном развитии может повысить эффективность использования ресурсов, обеспечив справедливое распределение выгод между секторами.

Цель статьи — систематизация и анализ взаимосвязей между водными ресурсами, энергетикой и производством продовольствия на основе нексусного подхода на примере Индии. В задачи статьи входит рассмотрение происходящих изменений взаимосвязей ВЭП в Индии под воздействием природно-экологических ограничений, технологических достижений, институционального развития, а также прогнозов водопотребления по разным сценариям до 2050 г.

ОБЗОР РАНЕЕ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нексусный подход широко применяется в мире для управления природными ресурсами и экосистемными услугами в целях снижения экологи-

ческих рисков и дефицита ресурсов в условиях глобальных изменений. В базе полнотекстовых источников Science Direct представлено свыше 9300 публикаций (май 2022 г.) по теме нексус “вода—энергия—продовольствие”, основанных на разных методологических подходах. “Нексусное мышление” вошло в оборот на Всемирном экономическом форуме 2008 г., понятие “нексус вода—энергия—продовольствие” введено на Боннской конференции 2011 г. «Инициирование комплексных решений для “зеленой” экономики» (Muller, 2015). Подход на основе установления взаимосвязей для обеспечения всеобщих прав на продовольственную, водную и энергетическую безопасность стал шагом вперед по сравнению с отраслевым управлением использованием природных ресурсов, которое по-прежнему преобладает в мировой практике (Kholod et al., 2021; Rasul and Sharma, 2015). Интерес к этой концепции в среде ученых, политиков, международных агентств по развитию и стран-доноров усилился в связи с принятием ООН Целей устойчивого развития на 2015—2030 гг. В докладе ФАО “Нексус Вода—Энергетика—Продовольствие” подчеркивается необходимость использования синергии взаимосвязей ВЭП для сокращения нищеты и устойчивого развития. При этом обращается внимание на недостаточную изученность: “Все еще не хватает надежных и политически ориентированных данных для обоснованных решений о распределении воды. Необходимы эффективные механизмы междисциплинарных консультаций ..., чтобы они составляли часть интегрированной, перспективной межсекторной стратегии” (The Water-Energy-Food ..., 2014, p. 2).

Концепция нексуса применяется для изучения взаимосвязей в разных секторах: звеньями выступают не только вода, энергия, продовольствие, но и здоровье населения, землепользование, экосистемы и т.п. (Al-Saidi and Elagib, 2017; Biggs et al., 2015). Ряд авторов утверждает, что междисциплинарный характер этого подхода не нов, апеллируя к интегрированному управлению водными ресурсами (ИУВР) как межотраслевому подходу, широко применяемому на практике после Всемирного саммита по устойчивому развитию в Йоханнесбурге (2002) (Benson et al., 2015). Однако многие полагают, что нексусный подход имеет большие возможности для продвижения в сфере водных ресурсов, энергетики и сельского хозяйства, так как он многоцентричен и каждый сектор имеет одинаковую важность, в то время как подход ИУВР является водоцентричным (Abdullaev and Rakhmatullaev, 2016; Benson et al., 2015; Liu et al., 2017). Взаимосвязь ВЭП принимается более широким кругом заинтересованных сторон, чем ИУВР, особенно в сельском хозяйстве и энергетике (Cai et al., 2018; Opoku et al., 2022). Растущий интерес к подходу на основе нексуса связан также с влиянием изменений климата на водную, энер-

⁴ <https://pib.gov.in/Pressreleaseshare.aspx?PRID=1782283> (дата обращения 15.06.2022).



Рис. 1. Основные звенья взаимосвязей (нексуса) вода—энергетика—продовольствие в Индии.

гетическую и продовольственную безопасность (Han et al., 2022). Однако большинство работ по тематике нексуса ВЭП сосредоточиваются на одном или двух процессах взаимосвязей, далеко не всегда создается представление о проблеме нексуса в целом (Simpson et al., 2019; Wichelns et al., 2017). То же самое касается и исследований по проблеме ВЭП в Индии (Kholod et al., 2021). Указывается, что для анализа всех взаимосвязей между водой, энергией и продовольствием необходим более комплексный методологический подход.

ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования выступает Индия, которая во все больших масштабах сталкивается с истощением водных ресурсов, обострением продовольственной проблемы и необходимостью обеспечения энергетической безопасности в условиях быстрого роста экономики. Постольку нексусный подход направлен на достижение компромиссов между секторами и усиление синергии при использовании ресурсов с учетом социальных и экологических последствий, исследование включало систематизацию существующих взаимосвязей между водными ресурсами, энергетикой и сельским хозяйством, а также анализ инструментов, которые реализуют эти взаимосвязи. Концептуальная схема рассмотрения взаимосвязей “вода—энергетика—продовольствие” представлена на рис. 1.

Схема ориентирована на макроуровень (страна), при переходе на более низкие уровни исследования (штаты, дистрикты, бассейны и проч.) отдельные звенья взаимосвязей могут меняться. Поскольку развитие сельского хозяйства и водопользование находится в компетенции штатов, формирующих свою аграрную политику с учетом

доступности воды, их рассмотрение должно детализироваться с учетом имеющихся данных. В качестве основных источников использованы официальные данные правительства Индии, труды зарубежных и российских ученых, публикации в индийских средствах массовой информации, отчеты и статистические данные международных организаций (ООН, ФАО и др.), информация Индийского статистического портала.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выявление ключевых взаимосвязей, потребностей и потенциальной синергии трех основных блоков нексуса учитывается при разработке стратегий регионального экономического развития и мер по адаптации к глобальным климатическим изменениям. Ниже рассмотрены основные взаимосвязи, характеризующие звенья “водные ресурсы—энергетика”, “водные ресурсы—продовольствие”, “сельское хозяйство—энергетика”.

Водные ресурсы для энергетики. В Индии в энергетике ежегодно используется 30 млрд м³ воды, из них почти 6 млрд безвозвратно. На водоемкое охлаждение ТЭС, работающих на угле, приходится 88% общего водопотребления в промышленности и энергетике. Поскольку в стране эксплуатируются ТЭС старого поколения с открытым контуром или прямоточными технологиями охлаждения, средняя интенсивность использования воды составляет около 80–160 м³/МВт·ч, что в 40–80 раз выше, чем в современной замкнутой или рециркуляционной системах (UN World ..., 2014).

Дефицит воды оказывает негативное воздействие на работу ТЭС. По оценкам, 40% ТЭС размещаются в районах водного дефицита, из-за чего уровень их использования на 21% ниже, чем у ТЭС с нормальным водообеспечением. При со-

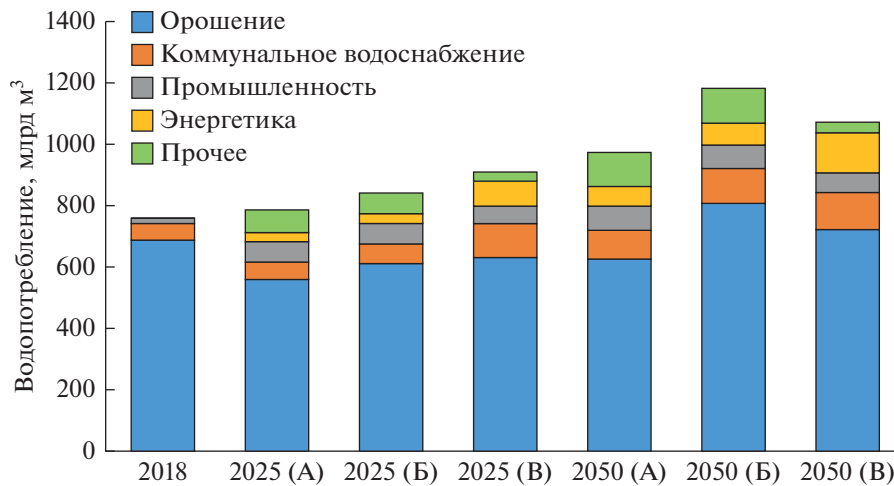


Рис. 2. Структура и прогноз водопотребления в Индии, млрд м³.

Составлено по: данным (Report ..., 2006) при нижнем пределе (A) и верхнем пределе (B) численности населения; (B) данным (Kholod et al., 2019); данные за 2018 г. по: https://storage.googleapis.com/fao-aquastat.appspot.com/countries_regions/factsheets/irrigation_area/en/IND-IRR.pdf.

хранении современных тенденций 70% ТЭС столкнутся с чрезвычайной нехваткой воды в 2030 г. (Liu et al., 2018). Свыше 70% электроэнергии Индии в 2040 г. будут генерировать электростанции, ныне строящиеся и проектируемые. Эти стройки размещаются с учетом обеспечения территорий водой; вводятся нормы водоемкости ТЭС. Планируется, что доля новых ТЭС, использующих пресную воду, уменьшится с 90 до 65% за счет технологий по сокращению водоемкости охлаждающих систем. Это уменьшит потребление на 12.4 млрд м³ пресной воды (количества, достаточного для годового потребления питьевой воды 120 млн человек).

На ГЭС вырабатывается 7% электроэнергии в Индии. Функционируют свыше 5100 гидроузлов с водохранилищами, вмещающими 303 млрд м³ (2015 г.), или 44% поверхностных водных ресурсов. По окончании ведущегося строительства водохранилищ их объем увеличится на 33–37 млрд м³, но процессы заиливания могут привести к потере 53 млрд м³ объема водохранилищ к 2050 г. (Сда-сюк, 2021).

Энергетика для водных ресурсов. Электроэнергия используется для откачки, очистки, опреснения и транспортировки воды для разных нужд. Для стимулирования снижения нагрузки на водные ресурсы предпринимаются разнообразные меры, в том числе введение дифференцированной стоимости для разных потребителей электроэнергии (Faster ..., 2015).

Обеспечение чистой питьевой водой в значительной степени зависит от потребления электроэнергии. В материалах правительства Индии (Economic ..., 2020) отмечается, что население,

сталкивающееся с энергетическими проблемами, обычно не имеет доступа к чистой питьевой воде и, следовательно, страдает от заболеваний, передающихся через воду. Цены на электроэнергию непосредственно оказывают влияние на доступность и обеспеченность питьевой водой (Katekar et al., 2021).

Водные ресурсы для производства продовольствия. Ирригация абсолютно преобладает в потреблении водных ресурсов, но ее доля постепенно снижается — с 90% в 2018 г. до 64–68% в 2050 г. (рис. 2) при увеличении доли водных ресурсов, используемых для нужд энергетики. Прогнозы, представленные в разных исследованиях, существенно отличаются между собой: если в 2025 г. ожидается снижения водопотребления для нужд ирригации в сравнении с 2018 г., то в 2050 г. эти показатели в большинстве прогнозов возрастут. Официальный прогноз Национальной комиссии по интеграции водных ресурсов и развитию основан на расчете водопотребления по международным нормам при верхнем [см. на рис. 2 параметры (A)] и нижнем [см. на рис. 2 параметры (B)] пределах роста численности населения. Другие данные по водопотреблению получены на основе Модели анализа глобальных изменений GCAM (Kholod et al., 2021). Признается, что ни один инструмент не может спрогнозировать водопотребления и аспекты взаимосвязей ВЭП, поэтому для выявления региональных тенденций, а также вариантов смягчения последствий нехватки воды в Индии важны исследования “снизу–вверх” и более подробные модели.

В стране создан ирригационный потенциал в 139.5 млн га, но в действительности орошается

Таблица 1. Изменение орошаемых площадей по источникам ирригации, 1960–2000 гг., млн га

Год	Каналы	Танки (пруды)	Помповые колодцы	Другие колодцы	Другие источники	Общая чистая орошаемая площадь
1960/61	10.4	4.6	0.2	7.2	2.4	24.7
1970/71	12.9	4.1	4.5	7.4	2.3	31.1
1980/81	15.2	3.2	9.5	8.2	2.6	38.7
1990/91	17.5	2.9	14.3	10.4	2.9	48.0
2000/01	15.0	2.5	22.6	11.3	2.9	55.1
2008/09	16.6	2.0	26.0	12.6	6.0	63.2

Источник. <http://www.indianstatistics.org.citation.html>

68 млн га (2018 г.)⁵. Стоит задача ввести в действие созданные, но не используемые 19 млн га (2016 г.). С начала 1980-х годов площадь, орошаемая каналами, практически не меняется⁶. На многих территориях произошло значительное снижение масштабов прямого орошения из каналов (табл. 1) из-за износа инфраструктуры, заиливания водохранилищ и неэффективного управления орошением. В то же время просачивание из каналов способствует восполнению запасов подземных водоносных горизонтов и увеличивает потенциал орошения на основе подземных вод.

Расширение ирригации в 1970–1980-х годах в основном происходило за счет широкого использования помповых колодцев⁷ – основы “зеленой революции” (см. табл. 1). Эта политика делала упор на повышение агротехнического уровня сельского хозяйства путем использования высокоурожайных сортов, что требовало расширения применения удобрений, невозможного без ирригации (Маляров, 2010). В 1970–1990 гг. площадь земель, орошаемых с помощью помповых колодцев, росла каждое десятилетие на 5 млн га, достигнув максимума в 1990–2000 гг. в 8.3 млн га; но в 2001–2009 гг. прирост уменьшился до 3.4 млн га. Откачивая около 251 км³ подземных вод, Индия стала их крупнейшим потребителем (четверть мирового потребления). Использование подземных вод обеспечивает свыше 65% орошаемых земель и 85% питьевой воды страны (Сдасюк, 2021).

Поставив в качестве первоочередной задачи решение продовольственной проблемы, государство предоставило крестьянам субсидии на электроэнергию (иногда бесплатную), что привело к избыточной откачке подземных вод. Вода стала товаром для многих владельцев колодцев. Низкие

субсидированные цены на электроэнергию стали причиной снижения уровня подземных вод во многих штатах – в Западной Бенгалии, Гуджарате, Андхра-Прадеше, Карнатаке, Пенджабе и Хaryana (Katekar et al., 2021).

Начавшееся недавно активное внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для откачки подземных вод и подачи воды на поля создает как новые возможности для развития ирригации, так и проблемы. Установленные мощности электростанций на возобновляемых источниках выросли с 75 ГВт в 2014 г. до 160 ГВт в 2022 г., более чем удвоившись⁸, а Индия вышла на третье место в мире по производству электроэнергии на ВИЭ. Стоимость солнечной энергии на энергетическом рынке постоянно снижается. Так, стоимость электричества, выработанного на солнечных станциях, составила в среднем 34 долл./МВт · ч, в то же время стоимость производства электроэнергии на угле – 45 долл./МВт · ч (2018/2019 г.), что сделало солнечную энергию более конкурентоспособной⁹.

С 2019 г. действует “Миссия ирригации на основе солнечной энергии”, осуществляющая схему КУСУМ (*Pradhan Mantri Kisan Urja Suraksha evam Utthaan Mahabhiyan*). Это одна из крупнейших в мире инициатив, направленная на внедрение солнечных установок для помповых колодцев. С государственной помощью в фермерских хозяйствах будет создано 3.5 млн установок, эффективность которых зависит от интегрального развития локального уровня. В то же время обеспечение электроэнергией водяных насосов из возобновляемых источников повышает риски еще большего истощения подземных водоносных горизонтов.

Сельское хозяйство для водных ресурсов. Острога водного кризиса в Индии может быть снижена за счет диверсификации сельскохозяйственных

⁵ https://storage.googleapis.com/fao-aquastat.appspot.com/countries_regions/factsheets/irrigation_area/en/IND-IRR.pdf (дата обращения 17.05.2022).

⁶ <http://www.indianstatistics.org/irrigation.html> (дата обращения 03.06.2022).

⁷ Скважинные колодцы с электроприводом для откачки подземных вод, используемых для орошения.

⁸ <https://www.investindia.gov.in/sector/renewable-energy> (дата обращения 10.06.2022).

⁹ <https://insideclimatenews.org/news/20052019/india-solar-investment-coal-modi-election-renewable-energy-future> (дата обращения 07.08.2022).

культур. Для этого предлагается расширить операции по государственным закупкам, включив в них менее водоемкие зерновые, бобовые и масличные культуры. Это побудило бы фермеров разнообразить севообороты такими культурами, что привело бы к огромной экономии воды. Перспективной агротехнологией становится выращивание суходольного риса прямого посева, которое требует на 25–57% меньше воды, чем заливной рис. Неорошаемый рис дает более низкие или аналогичные урожаи зерна (Dagar, 2021).

Сельское хозяйство для энергетики. Политика правительства Индии нацелена на поощрение развития биоэнергетики и использования биомассы. Для получения биодизеля¹⁰ в основном выращиваются масличные культуры, для производства биоэтанола¹¹ — сахарный тростник и зерновые. Доля биодизеля в общем объеме производства биотоплива увеличилась почти в 10 раз, с 3% в 2000 г. до 32% в 2020 г., на биоэтанол по-прежнему приходится две трети (Powell et al., 2022). Создаются крупномасштабные плантации биоэнергетических культур для производства топлива второго поколения, для чего также используются отходы биомассы сельского (солома, багасса) и лесного хозяйства. Несмотря на то, что посевы биотопливных культур стремятся размещать на маргинальных малопродуктивных землях (Gunatilake et al., 2014), получение биотоплива из продовольственных культур вызывает острые дебаты и критику.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Взаимосвязи отдельных звеньев нексуса ВЭП на примере Индии отражают противоречия между секторами, обостряющиеся на уровне штатов. Так, конкуренция между энергетикой и водопользованием усиливается в штатах с острой нехваткой воды. Управление сложными взаимосвязями успешно, когда осуществляется интеграция секторов, благодаря чему достигаются компромиссы и предотвращаются потенциальные конфликты между производством энергии и продовольствия в условиях дефицита воды (Benson et al., 2015).

Примером подобного управления нексусом ВЭП и разрешения межсекторного конфликта стала ситуация в штате Гуджарат на западе Индии. В этом экономически развитом штате отмечалась чрезмерная эксплуатация водоносных горизонтов для орошения в бассейнах рр. Махи и Сабармати, несмотря на предпринятые с начала 1970-х годов усилия по регулированию расхода

подземных вод и попытки установить рациональный тариф на электроэнергию для фермеров. Проблема истощения водоносных горизонтов критически обострилась в конце 1990-х годов. В 2003–2006 гг. правительство штата запустило схему *Jyotigram* (“Освещенная деревня”), в рамках которой было инвестировано 290 млн долл. для отделения сельскохозяйственных источников электроэнергии от прочих и нормирования электроэнергии для фермеров. В 2006 г. почти все 18 тыс. деревень Гуджарата были охвачены этой схемой. Она включала два основных механизма: деревни получили круглосуточное трехфазное электроснабжение для бытовых нужд по счетчику, а владельцы помповых колодцев — электроэнергию полного напряжения на 8 часов в сутки по графику. Схема рационализации электроснабжения позитивно повлияла на крупных и средних фермеров и негативно — на маргинальные хозяйства и безземельных крестьян, доступ которых к орошению зависел от рынка воды. Цены на воду, взимаемые владельцами помповых колодцев, выросли на 30–50% (Shah et al., 2008). Тем не менее программа *Jyotigram* радикально изменила ситуацию: вдвое сократились субсидии на электроэнергию сельскому хозяйству, снизился перерасход подземных вод, облегчились проблемы водоснабжения предприятий. “Модель Гуджарата” стала символом успеха системы регионального управления. Она была реализована в период, когда правительство штата Гуджарат возглавлял Н. Моди (2000–2014 гг.), ныне премьер-министр Индии.

Однако реализация проектов регионально-бассейнового развития на нексусной основе наталкивается на многие трудности. Яркий пример тому — мегапроект “Чистый Ганг”, официально провозглашенный в 1985 г., но поныне далекий от осуществления. На бассейн Ганга приходится 30% речного стока Индии, 26% площади и свыше 40% населения. Бассейн простирается в 8 штатах, на его берегах стоят 118 городов. Индусы поклоняются реке как божеству: Ганга — священна, Ганга — “мать”¹². При этом Ганг одна из самых загрязненных рек мира: 3/4 промышленных и бытовых отходов поступают в нее неочищенными, свыше 600 км реки представляют экологически “мертвую зону” (Сдасюк, 2021).

Н. Моди, возглавивший правительство в мае 2014 г., уже в июне 2014 г. провозгласил одним из приоритетов развития программу “Мать Ганга” (*Namami Ganga Programme*). Была принята “Национальная Миссия чистой Ганги”, начало действовать Национальное управление бассейна Ганга, цель которого — очищение речных вод и восстановление биоразнообразия. Проект предусматривал создание инфраструктуры очистных

¹⁰Моторное жидкое топливо, получаемое на основе растительных масел.

¹¹Этанол из переработанного растительного сырья используется как моторное топливо или присадка к бензину.

¹²В Индии название рек женского рода.

сооружений, системы мониторинга промышленных и бытовых отходов, береговых укреплений и улучшение состояния гхат¹³. На проект было ассигновано 3.06 млрд долл. Однако простое увеличение ассигнований не обеспечило успех проекта. Необходимое условие его реализации — интегральное развитие всего региона бассейна Ганга как сложной системы взаимосвязей основных секторов.

Взаимосвязи секторов усложняются, если учитывать влияние изменений климата, усиливающих неопределенность развития звеньев нексуса. По данным исследования, проведенного Индийским институтом тропической метеорологии по заказу Министерства наук о Земле (Assessment ..., 2020), к концу XXI в. среднегодовая температура воздуха в Индии повысится от 2.4 до 4.4°C в сравнении с периодом 1976–2005 гг., продолжительность периодов экстремальной жары в апреле–июне удвоится. Потепление будет сочетаться со значительными годовыми колебаниями выпадения осадков и с учащением экстремальных явлений — муссонных ливней, наводнений и засух. Все это может усугубить и без того не очень благоприятную агроприродную ситуацию, учитывая, что сейчас треть земельного фонда страны подвержена засухам и наводнениям. В течение 1951–2015 гг. в Индии наблюдалось сокращение среднегодовых осадков (Assessment ..., 2020). Но география изменений контрастна: в Центральной Индии и на Северо-Востоке количество осадков уменьшилось на 1–5 мм, а на Северо-Западе, в Джамму и Кашмире оно несколько выросло.

Изменения климата приведут к разбалансированию взаимосвязей нексуса ВЭП, так как все звенья подвержены влиянию глобальных изменений климата и каждое из них, в свою очередь, вносит свой вклад в дестабилизацию климатической ситуации. С учетом этого влияния в нексусе ВЭП появляются новые взаимосвязи, например, увеличение выбросов диоксида углерода в результате роста использования энергии, выработанной на ТЭС. При растущих концентрациях углекислого газа изменится влияние удобрений на урожайность культур и т.п. Усилится неоднозначное отношение к Национальной программе соединения рек, так как эффективность проектов межбассейновых перебросок воды может оказаться не столь существенна в случае увеличения количества осадков в засушливых регионах. В то же время растет интерес к развитию новых водосберегающих технологий, который сочетается со стремлением восстановить традиционные методы сбора и сохранения дождевой воды. Происходящие изменения климата потребуют разработки системы мер адаптации в ответ на риски усиления

экстремальных явлений и их учета в соответствующих планах регионального развития на уровне штатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция нексуса вода—энергетика—продовольствие представляет конструктивную реакцию научного сообщества на обостряющиеся противоречия между ограниченными природно-экологическими ресурсами и усиливающимся антропогенным давлением на них. Опыт развития Индии, фокусирующей многие острые проблемы современности и переживающей водный кризис, имеет международное значение.

Новая водная политика, разрабатываемая в Индии, ориентирована на развитие водного хозяйства как основы всей системы социо-эколого-экономического развития. На основе нексусного подхода преодолеваются противоречия между секторами водопользования и определяются пути их решения — технически разрешимые, экономически эффективные, социально приемлемые и экологически рациональные. Все большее значение придается учету водоемкости разных отраслей и производств, что нередко определяет целесообразность изменения географии развития сельского хозяйства и энергетики.

Как показывает пример Индии, результативность нексусного подхода может достигаться только в контексте интегрального регионального развития, включая более тесные связи между секторальными программами и планами развития. Междисциплинарные исследования этих противоречивых процессов требуют применения методов анализа больших данных и углубления теории интегрального регионального развития. Единая география, обладающая уникальным междисциплинарным потенциалом, призвана играть ведущую роль в этой сфере.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена по материалам исследований по темам ГЗ Института географии РАН № 0148-2019-0008 (FMGE-2019-0008) и географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 121040100322-8.

FUNDING

The article was prepared on the basis of research materials on the topics of the State Tasks of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences no. 0148-20190008 and the Faculty of Geography of Moscow State University no. 121040100322-8.

¹³Гхаты — каменные сооружения для ритуального омовения индуистов или как места кремации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева Н.Н.* Проблема виртуальной воды в Индии в контексте межбассейновых перебросок речного стока // Мир геоэкологии. Геоэкологические проблемы и пути их решения. М.: ГЕОС, 2017. С. 153–162.
- Маляров О.В.* Независимая Индия. Эволюция социально-экономической модели и развитие экономики. Кн. 2. М.: Изд-во Вост. лит-ра, 2010. С. 775.
- Сдасюк Г.В.* Новая Индия. География развития: достижения, проблемы, перспективы. М.: Канон+РООИ “Реабилитация”, 2021. 520 с.
- Abdullaev I., Rakhmatullaev S.* Setting up the agenda for water reforms in Central Asia: does the nexus approach help? // Environ. Earth Sci. 2016. Vol. 75 (10). 870. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5409-8>
- Al-Saidi M., Elagib N.A.* Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus // Sci. Total Environ. 2017. Vol. 574 (1). P. 1131–1139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.046>
- Assessment of Climate Change over the Indian Region. A Report of the Ministry of Earth Sciences (MoES). Government of India; Springer Open, 2020. 227 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-4327-2>
- Benson D., Gain A.K., Rouillard J.J.* Water governance in a comparative perspective: from IWRM to a ‘Nexus’ approach? // Wat. Alternatives. 2015. Vol. 8 (1). P. 756–773.
- Biggs E.M., Bruce E., Boruff B., Duncan J.M.A., Horsley J., Pauli N., McNeill K., Neef A., Van Ogtrop F., Curnow J., Haworth B., Duce S., Imanari Y.* Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods // Environ. Sci. & Policy. 2015. № 54. P. 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.002>
- Cai X., Wallington K., Shafiee-Jood M., Marston L.* Understanding and managing the food-energy-water nexus – opportunities for water resources research // Adv. Wat. Res. 2018. № 111. P. 259–273. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.11.014>
- Chaturvedi V., Nagar P., Rudresh K., Kangkanika S., Hejazi N.M.* Cooperation or rivalry? Impact of alternative development pathways on India’s long-term electricity generation and associated water demands // Energy. 2020. Vol. 192. 116708. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116708>
- Dagar A.* Present and Future Requirement of Water for Agricultural Crops and Livestock / Climate Resilient Livestock and Production System. Karnal: National Dairy Res. Inst., 2021. P. 193–206.
- Han X., Hua E., Engel B.A., Guan J., Yin J., Wua N., Sun S., Wan Y.* Understanding implications of climate change and socio-economic development for the water-energy-food nexus: A meta-regression analysis // Agricultural Wat. Management. 2022. Vol. 269. 107693. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107693>
- Economic Survey of India 2019–2020. Vol. 1. Ministry of Finance. Delhi: Educreation Publishing, 2020. 618 p.
- Gunatilake H., Roland-Holst D., Sugiyarto G.* Energy security for India: Biofuels, energy efficiency and food productivity // Energy Policy. 2014. Vol. 65. P. 761–767. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.050>
- Faster, More Inclusive and Sustainable Growth // Twelfth Five Year Plan (2012–2017). Vol. 1. New Delhi: Planning Commission, Govt. of India. Vol. 54. December, 2015. P. 389–397.
- Katekar V.P., Deshmukh S.S., Vasan A.* Energy, drinking water and health nexus in India and its effects on environment and economy // J. Wat. and Clim. Change. 2021. Vol. 12 (4). P. 997–1022.
- Kholod N., Evans M., Khan Z., Hejazi M., Chaturvedi V.* Water-energy-food nexus in India: A critical review // Energy and Clim. Change. Vol. 2. December, 2021. 100060.
- Liu J., Mao G., Hoekstra A.Y., Wang H., Wang J., Zheng C., van Vliet M.T.H., Wu M., Ruddell B., Yan J.* Managing the energy-water-food nexus for sustainable development // Appl. Ener. 2018. Vol. 210. P. 377–381. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.064>
- Muller M.* The ‘Nexus’ As a Step Back towards a More Coherent Water Resource Management Paradigm // Wat. Alternatives. 2015. Vol. 8 (1). P. 675–694.
- Opoku E.K., Adjei K.A., Gyamfi C., Vuu C., Appiah-Adjei E.K., Odai S.N., Siabi E.K.* Quantifying and analysing water trade-offs in the water-energy-food nexus: The case of Ghana. Water-Energy Nexus. 2022. Vol. 5. P. 8–20.
- Pandit C., Biswas A.K.* India’s National Water Policy: ‘feel good’ document, nothing more // Int. J. Water Resour. Dev. March, 2019. Vol. 35 (6). P. 1–14. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1576509>
- Powell L., Sati A., Tomar V.K.* Biofuels in India: Do the benefits justify the costs? // Terra Nova. Jan. 28, 2022. <https://www.orfonline.org/expert-speak/biofuels-in-india-do-the-benefits-justify-the-costs/>
- Rasul G., Sharma B.* The nexus approach to water –energy– food security: an option for adaptation to climate change // Clim. Policy. 2015. Vol. 16 (6). P. 682–702. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1029865>
- Report of the working group on Water Resources for XI Five-Year Plan (2007–2012). New Delhi: Government of India, 2006. 268 p.
- Shah T., Bhatt S., Shah R.K., Talati J.* Groundwater governance through electricity supply management: Assessing an innovative intervention in Gujarat, western India // Agricultural Wat. Management. 2008. Vol. 95 (11). P. 1233–1242.
- The Water–Energy–Food Nexus.* A new approach in support of food security and sustainable agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. 20 p.
- Wichelns D.* The water-energy-food nexus: Is the increasing attention warranted, from either a research or policy perspective? // Environ. Sci. Policy. 2017. Vol. 69. P. 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.018>
- Simpson G.B., Jewitt G.P.W.* The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review // Front. Environ. Sci. 2019. Vol. 7 (8). P. 1–9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008>
- UN World Water Development Report 2014: Water and Energy. Paris. 2014. Vol. 1. 230 p.

Water Crisis in India: Concept of Nexus-Regional Solution

G. V. Sdasyuk^{a, *} and N. N. Alekseeva^{b, **}

^a*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

^b*Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, Russia*

^{*}*e-mail: galsdas@bk.ru*

^{**}*e-mail: nalex01@mail.ru*

In India, which ranks first in the world in terms of population size in 2023, rapid technological and economic development is combined with an increased scarcity of natural resources, which is especially acute in the lack of water resources. Increase of water consumption (90% of water is consumed by irrigation and agriculture), growing competition for water resources from energy, industry, urbanization, etc. require a transition from sectoral water use management to management based on the concept of nexus (*latin*)—linkage between sectors. The central is Water–Energy–Food nexus which has been studied since the early 2010s. In developing the new National Water Policy of India, attention is focused on the development of the Water–Energy–Food production nexus. The article is based on a review of scientific publications, a critical analysis of forecasts and scenarios, and the use of statistical databases. The most acute problems of water availability and rationalization of its use are discussed at the state level and at the level of large river basins (project “Pure Ganges”). Technological and managerial decisions made in India aimed at rationalizing water use based on an unsophisticated approach are considered. A new driving force is the accelerated development of renewable energy sources. The problems of the Water–Energy–Food production nexus can be successfully solved only in the context of integral regional development, which becomes more complicated under the climate change.

Keywords: India, nexus approach, water scarcity, water use, energy, agriculture, food problem, regional development

REFERENCES

- Abdullaev I., Rakhmatullaev S. Setting up the agenda for water reforms in Central Asia: does the nexus approach help? *Environ. Earth Sci.*, 2016, vol. 75 (10), 870. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5409-8>
- Alekseeva N.N. The problem of virtual water in India in the context of inter-basin transfers of river flow. In *Mirgeokologii. Geoekologicheskie problemy i puti ikh resheniya* [The World of Geoecology. Geoecological Problems and Ways of Their Solution]. Moscow: GEOS Publ., 2017, pp. 153–162. (In Russ.).
- Al-Saidi M., Elagib N.A. Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. *Sci. Total Environ.*, 2017, vol. 574 (1), pp. 1131–1139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.046>
- Assessment of Climate Change over the Indian Region. A Report of the Ministry of Earth Sciences (MoES)*. Government of India; Springer Open, 2020. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-4327-2>
- Benson D., Gain A.K., Rouillard J.J. Water governance in a comparative perspective: from IWRM to a ‘Nexus’ approach? *Water Altern.*, 2015, no. 8, pp. 756–773.
- Biggs E.M., Bruce E., Boruff B., Duncan J.M.A., Horsley J., Pauli N., McNeill K., Neef A., Van Ogtrop F., Curnow J., Haworth B., Duce S., Imanari Y. Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. *Environ. Sci. Policy*, 2015, no. 54, pp. 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.002>
- Cai X., Wallington K., Shafiee-Jood M., Marston L. Understanding and managing the food–energy–water nexus – opportunities for water resources research. *Adv. Water Resour.*, 2018, no. 111, pp. 259–273. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.11.014>
- Chaturvedi V., Nagar P., Rudresh K., Kangkanika S., Hejazi N.M. Cooperation or rivalry? Impact of alternative development pathways on India’s long-term electricity generation and associated water demands. *Energy*, 2020, vol. 192, no. 116708. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116708>
- Dagar A. Present and Future Requirement of Water for Agricultural Crops and Livestock. In *Climate Resilient Livestock and Production System*. Karnal: National Dairy Research Institute, 2021, pp. 193–206.
- Economic Survey of India 2019–2020*. Ministry of Finance. Delhi: Education Publ., 2020, vol. 1. 618 p.
- Faster, More Inclusive and Sustainable Growth. In *Twelfth Five Year Plan (2012–2017)*. Vol. 1, New Delhi: Planning Commission, Govt. of India, vol. 54, December 2015, pp. 389–397.
- Gunatilakea H., Roland-Holst D., Sugiyarto G. Energy security for India: Biofuels, energy efficiency and food productivity. *Energy Policy*, 2014, vol. 65, pp. 761–767. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.050>
- Han X., Hua E., Engel B.A., Guan J., Yin J., Wua N., Sun S., Wan Y. Understanding implications of climate change and socio-economic development for the water–energy–food nexus: A meta-regression analysis. *Agric. Water Manag.*, 2022, vol. 269(7). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107693>
- Katekar V.P., Deshmukh S.S., Vasan A. Energy, drinking water and health nexus in India and its effects on environment and economy. *J. of Water Clim. Chang.*, 2021, vol. 12 (4), pp. 997–1022.
- Kholod N., Evans M., Khan Z., Hejazi M., Chaturvedi V. Water–energy–food nexus in India: A critical review. *Energy Clim. Chang.*, December 2021, vol. 2.

- Liu J., Mao, G., Hoekstra, A. Y., Wang, H., Wang, J., Zheng, C., van Vliet M.T.H., Wu M., Ruddell B., Yan J. Managing the energy-water-food nexus for sustainable development. *Appl. Energy*, 2018, vol. 210, pp. 377–381. <https://doi.org/j.apenergy.2017.10.064>
- Malyarov O.V. *Nezavisimaya Indiya. Evolyutsiya sotsial'no-ekonomicheskoi modeli i razvitie ekonomiki* [Independent India. Evolution of Socioeconomic Model and Development of Economy]. Moscow: Vost. Lit-ra Publ., 2010. 775 p.
- Muller M. The 'Nexus' As a Step Back towards a More Coherent Water Resource Management Paradigm. *Water Altern.*, 2015, vol. 8 (1), pp. 675–694.
- Opoku E.K., Adjei K.A., Gyamfi C., Vuu C., Appiah-Adjei E.K., Odai S.N., Siabi E.K. Quantifying and analysing water trade-offs in the water-energy-food nexus: The case of Ghana. *Water-Energy Nexus*, 2022, vol. 5, pp. 8–20.
- Pandit C., Biswas A.K. India's National Water Policy: 'feel good' document, nothing more. *Int. J. Water Resour. Dev.*, March 2019, vol. 35 (6), pp. 1–14. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1576509>
- Powell L., Sati A., Tomar V. K. Biofuels in India: Do the benefits justify the costs? *Terra Nova*, Jan. 28, 2022.
- Rasul G., Sharma B. The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. *Clim. Policy*, 2015, vol. 16 (6), pp. 682–702. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1029865>
- Report of the working group on Water Resources for XI Five-Year Plan (2007–2012)*. New Delhi: Government of India, 2006.
- Sdasyuk G.V. *Novaya Indiya. Geografiya razvitiya: dos-tizheniya, problemy, perspektivy* [New India. Geography of Development: Achievements, Problems, Prospects]. Moscow: Kanon + ROOI "Reabilitaciya," 2021. 520 p.
- Shah T., Bhatt S., Shah R.K., Talati J. Groundwater governance through electricity supply management: Assessing an innovative intervention in Gujarat, western India. *Agric. Water Manag.*, 2008, vol. 95 (11), pp. 1233–1242.
- Simpson G.B., Jewitt G.P. W. The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review. *Front. Environ. Sci.*, 2019, vol. 7 (8), pp. 1–9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008>
- The Water-Energy-Food Nexus. A new approach in support of food security and sustainable agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.
- UN World Water Development Report 2014: Water and Energy*. Paris, 2014, vol. 1.
- Wichelns D. The water-energy-food nexus: Is the increasing attention warranted, from either a research or policy perspective? *Environ. Sci. Policy*, 2017, vol. 69, pp. 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.018>