

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Соловьев Д.А., Нигматулин Р.И.

ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии

наук

Современное существование человека напрямую зависит от наличия водных ресурсов и энергии разнообразных видов и форм. Энергия и вода неразрывно связаны между собой. Многие источники энергии нуждаются в воде для производственных процессов, таких, как добыча сырья, охлаждение на электростанциях, выращивание культур для производства биотоплива, работы турбин ГЭС и т.д. С другой стороны, энергия требуется, чтобы водные ресурсы были доступны людям для использования и потребления в быту, на водном транспорте, с целью опреснения воды и орошения полей. Эта двусторонняя взаимозависимость энергии и водных ресурсов к сожалению достаточно уязвима. Задача управления этой взаимосвязью опирается на внешние факторы, влияние которых может быть оценено, но полностью учесть их не представляется возможным.

Изменение климата является центральным внешним фактором, который влияет как на воду, так и на энергию напрямую. Меры по смягчению последствий изменения климата концентрируются вокруг сокращения потребления энергии и выбросов углекислого газа, в то время как адаптация к этим изменениям означает, что нужно учитывать так же усиление гидрологической изменчивости и экстремальных погодных явлений, включая наводнения, засухи и шторма.

Другой немаловажный фактор, создающим внешнее напряжение в этой сфере - демографический рост, так как с увеличением численности населения и миграций, а также с повышением экономической активности и уровня жизни, будет генерироваться всплеск потребления энергии и воды.

В настоящее время практически во всех секторах энергетики потребности в воде при производстве электроэнергии постоянно возрастают (Рис. 1).

На тепловых электростанциях (уголь, газ, нефть, биомасса, геотермальная энергия или уран) выработка электроэнергии происходит при нагревании воды или пара, при прохождении их через турбины для привода электрических генераторов. После прохождения через турбины, вода в паровом цикле охлаждается в градирнях, затем идет в конденсатор и используется вторично. На технологические процессы генерации, с участием воды в настоящее время приходится 78% мирового производства электроэнергии (EIA 2010 [3]), и ожидается, что цифра будет расти, т.е. еще больше воды потребуется для охлаждения.

Значения расхода воды для таких тепловых электростанций варьируются в зависимости от различных существующих технологий и источников топлива, а

также климатических различий, влияющих на испарение и выбор процесса охлаждения.

Гидроэнергетика использует возобновляемые источники электроэнергии в большом объеме (15% мирового производства в 2007 году), считается, что на две трети ее мировой экономически обоснованный потенциал еще не исчерпан (WEC 2010 [4]). Основные потери воды в гидроэнергетике происходят за счет ее испарения из накопительных водохранилищ. Большинство последних исследований в США на эту тему отмечают диапазон потерь от 0,04 до 210 м³ на 1 МВт*ч.

На ветровые и солнечные фотоэлектрические преобразователи в настоящее время приходится 3% мирового производства электроэнергии. Во время работы ВЭС вода практически не используется, за исключением, мытья поверхности солнечных батарей. Тем не менее, потребность в воде для этих целей может быть значительной, особенно в районах с засушливым климатом. Кроме того, в случае крупномасштабного развертывания концентраторов солнечной энергии (солнечных водонагревателей), производство электроэнергии потребует использования водяного пара, как и в случае с тепловыми электростанциями и, следовательно, охлаждения водой.

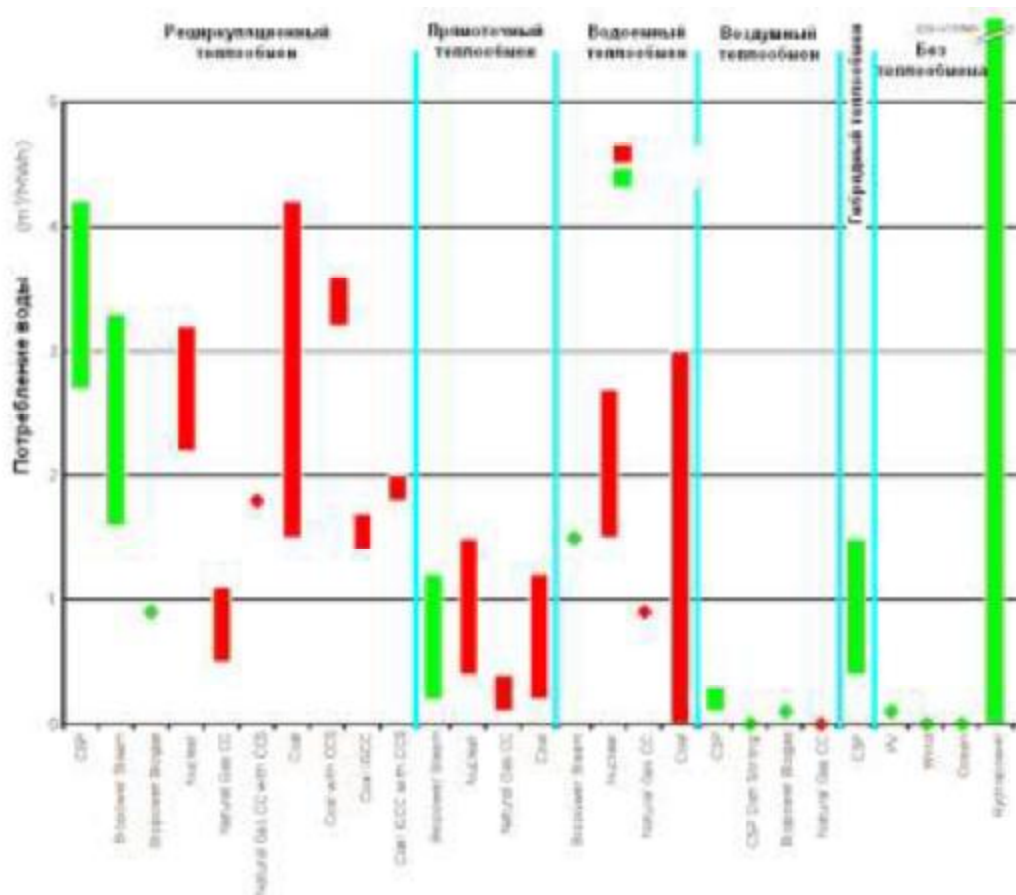


Рис.1. Уровень потребления воды при производстве энергии, с использованием различных технологий. Источник: Trends in the demand of water for energy. IPCC 2011, fig. 914. p. 49., [1].

В настоящее время существует устойчивая тенденция возрастания потребления электроэнергии во всех регионах мира, причем наиболее сильно это увеличение происходит в ряде стран не входящих в ОЭСР, ситуация в дальнейшем весьма негативно скажется на водных ресурсах необходимых для производства этой энергии [2].

Таблица 1 показывает, что ожидаемые потребности в воде для производства энергии вырастут на 11,2% в 2050 году при сохранении нынешних режимов потребления.

Таблица 1.

Численность населения, потребление энергии и потребление воды для нужд энергетики в мире, 2005-2050 гг.

	2005 г.	2020 г.	2035 г.	2050 г.
Население (млн.)	6290	7842,3	8601,1	9439,0
Потребление энергии (Экса Дж)	328,7	400,4	464,9	518,8
Потребление энергии (ГДж / на душу населения)	52,3	51,1	54,1	55
Вода для энергии (млрд. м ³ /год)	1815,6	1986,4	2087,8	2020,1
Вода для энергии (м ³ / на душу населения)	288,6	253,3	242,7	214,0

Источник: WEC (2010, table 1, p. 50), [4].

Таблица 2.

Численность населения, потребление энергии и потребление воды для нужд энергетики в мире, с учетом повышения энергоэффективности, 2005-2050 гг.

	2005 г.	2020 г.	2035 г.	2050 г.
Население (млн.)	6290	7842,3	8601,1	9439,0
Потребление энергии (Экса Дж)	328,7	364,7	386,4	435,0
Потребление энергии (ГДж / на душу населения)	52,3	46,5	44,9	46,1
Вода для энергии (млрд. м ³ /год)	1815,6	1868,5	1830,5	1763,6
Вода для энергии (м ³ / на душу населения)	288,6	238,3	212,8	186,8

Источник: WEC (2010, table 2, p. 51), [4].

В рамках сценария WEC (2010) [4], который предполагает увеличение производства энергии и к. п. д. энергоустановок считается, что потребность в воде для производства энергии может снизиться на 2,9% до 2050 года (таблица 2.).

Водные ресурсы распределены неравномерно по всей планете, и, соответственно, отдельные регионы столкнутся с существенной нехваткой воды для выработки энергии. В этой связи, WEC (2010) приводит оценки, свидетельствующие о том, что этот сценарий будет иметь место на большей части Северной и Южной Америки и в Карибском бассейне.

Как видно из Таблицы 3, очистка сточных вод также требует большого количества энергии (WEF) [5]. Развитые страны, имеющие более строгие законы в отношении сброса и очистки сточных вод, обладают, как правило, более энергоэффективными технологиями очистки последних.

Биофильтры, использующие биологически активные субстраты для аэробной очистки, потребляют в среднем свыше 250 кВт*ч.

Таблица 3.

Средний уровень расхода электроэнергии на добычу и очистку воды (США).

	Источник воды/ технология очистки	Расход электроэнергии (кВт*ч/млн.л.)
Чистые воды	Поверхностные воды	60
	Подземные воды	160
	Подземные (солончатые) воды	1000-2600
	Морская вода	2600-4400
Сточные воды	Биофильтрация	250
	Активный ил	340
	Очистка без хлорирования	400
	Очистка с хлорированием	500

Источники: CEC (2005); EPRI (2002); Stillwell (2010); Stillwell et al. (2010, 2011).

Применение технологии фильтрации «Активного ила», является более энергоемкой формой очистки сточных вод, требующей 340 кВт*ч из-за использования насосов и специального оборудования. Системы фильтрации, для высококачественной очистки, требуют до 400-500 кВт*ч электроэнергии.

В свою очередь, осадок сточных вод путем анаэробного сбраживания возможно использовать для производства энергии путем создания биогаза, возобновляемого топлива, которое может быть использовано для компенсации до 50% затрат электроэнергии, потребляемой для очистки.

Все процессы управления и использования воды требуют значительных энергозатрат, так, например, в сельском хозяйстве энергия находит свое применение для орошения полей. В странах ОЭСР энергия, затраченная на орошение, составляет небольшую долю от общей энергии, потраченной на операции с водой (нагрев, первичная очистка и утилизации сточной воды). Однако страны не входящие в ОЭСР затрачивают на орошение значительную долю электроэнергии. Не исключено, что повышение энергоэффективности и развитие новых «водных» технологий в будущем компенсирует ожидаемый рост энергопотребления, необходимый для перехода на более высокие стандарты очистки стоков. Весьма вероятно, что в стоимость производства электроэнергии будут включаться затраты на регенерацию потребляемой для этих целей воды.

Ужесточающиеся требования к качеству воды для нужд растущего количества населения, а также нехватка чистой воды будет обязывать страны постоянно искать и изучать нетрадиционные источники воды, требующие для своего использования привлечения значительных энергетических ресурсов. Таким образом, в то время как технологии постоянно становятся все более энергоэффективными, выигрыш в эффективности рискует быть компенсированным увеличением потребности в энергии для доставки воды из таких нетрадиционных источников, или очистки воды, которая имеет более низкое качество.

Как отмечалось выше, глобальное потребление энергии для производства воды резко возрастет в течение следующих двух десятилетий. Эта тенденция в первую очередь зависит от экономического роста и роста населения в развивающихся странах. Основной задачей в области водных ресурсов и энергии будет устойчивое обеспечение формирующейся новой энергетической цивилизации водными ресурсами для того, чтобы удовлетворить растущие ресурсные запросы, в том числе энергетические. Решение этой задачи потребует создания новой политики для обеспечения более эффективного и интегрированного управления водными ресурсами для целей новой энергетики. Первый шаг на пути такой политики - это комплексная оценка доступных ресурсов воды. Затем, водная и энергетическая политика, должны будут напрямую интегрироваться в общую стратегию устойчивого развития в тесном взаимодействии между собой.

Энергия, генерируемая за счет воды - гидроэнергия, наряду с другими возобновляемыми источниками энергии, такими, как энергия ветра, солнца, приливов, биоэнергия, геотермальная энергия, может стать более устойчивой в экологическом отношении, не ведущей к загрязнению окружающей среды и альтернативой ископаемым энергоносителям. В совокупности за счет этих источников в настоящее время покрывается около 14 % мирового первичного спроса на энергию. Малая гидроэлектроэнергетика хорошо подходит для энергообслуживания не охваченных крупными энергосистемами сельских районов, тогда как другие возобновляемые источники энергии, например ветровые и солнечные генераторы и установки, работающие на биомассе, целесообразно применять для электроснабжения насосов, качающих грунтовую воду для питья и мелкомасштабного орошения в отдаленных сельских районах или небольших селениях.

Значительный потенциал имеет и расширение крупномасштабной гидроэлектроэнергетики в развивающихся странах, не входящих в ОЭСР. Тем не менее, сооружение крупных плотин чревато тяжелыми экологическими последствиями для сред обитания диких биологических видов, миграции рыб и объемов и качества водотока, равно как и серьезными социально-экономическими последствиями, связанными с необходимостью переселения местного населения.

Еще одной существенной проблемой, ждущей своего решения, является финансирование инфраструктуры, необходимой для предоставления базовых услуг водо- и электроснабжения в развивающихся странах. Без надежной энергетической инфраструктуры и стабильного электроснабжения потенциал для экономического роста здесь ограничен.

Решение проблемы для таких стран нужно искать в создании малых автономных гидроэнергетических систем, которые, как правило, оказывают небольшое воздействие на окружающую среду и могут оказаться особенно полезными в сельских и отдаленных районах. При проектировании любых гидроэнергетических систем, как крупных, так и мелких, исключительно важно проводить еще на этапе планирования подробную экспертизу экологических и социально-экономических последствий.

Работа выполнена при финансировании РФФИ (гранты № 12-08-00026-а)

Литература

1. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4) IPCC statement on the melting of Himalayan glaciers - 20 January 2010.
2. Managing Water under Uncertainty and Risk, the United Nations world water development report 4. Vol. 1. Published in 2012 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris 07 SP, France. 909 p.
3. Annual Energy Outlook 2012/ June 25, 2012 Report Number: DOE/EIA-0383(2012)
4. Survey of Energy Resources 2010/ 22nd edition of the World Energy Council's (WEC). November 2010. URL: <http://www.worldenergy.org/publications/3040.asp>
5. World Economic Forum Annual Report 2010-2011. URL: <http://www.weforum.org/reports-results>

МОНИТОРИНГ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЗОНА НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ НАД МОСКВОЙ ПРИ ВОЗМУЩЕ- НИЯХ ОЗОНОСФЕРЫ в 2010 и 2011 гг.

С.В.Соломонов, Е.П.Кропоткина, С.Б.Розанов, А.Н.Игнатъев, А.Н.Лукин

Физический институт им П.Н.Лебедева РАН

1. ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг вертикального распределения атмосферного озона представляет особую важность в связи с исключительной ролью этой газовой составляющей в защите жизни на Земле от губительного УФ-Б излучения Солнца [1]. Озон является также одной из ключевых газовых составляющих, участвующей в тепловых, химических и динамических атмосферных процессах [1]. Радиофизические методы дистанционного зондирования земной атмосферы, основанные на измерении собственного теплового радиоизлучения атмосферных газов на миллиметровых (ММ) волнах, открыли новые возможности в изучении атмосферы и её озонового слоя. Эти методы развиваются в нашей стране [2-6] и за рубежом [7-9]. В Физическом институте им. П.Н.Лебедева (ФИАН), начиная с 1987 года, выполняется многолетний мониторинг на миллиметровых (ММ) радиоволнах вертикального распределения озона над Московским регионом. Дистанционные измерения вертикальных профилей озона на ММ волнах с поверхности Земли характеризуется рядом уникальных особенностей. Действительно, в отличие от оптических наблюдений, такие измерения могут выполняться круглосуточно при различных погодных условиях, поскольку для радиоволн характерно много более слабое, чем в оптическом диапазоне, ослабление в облаках и аэрозольных слоях. Измерения вертикального распределения озона (ВРО) на ММ волнах с Земли позволяют по-

лучать надёжную информацию о содержании озона и его изменениях в широком диапазоне высот, в стратосфере и мезосфере, включая труднодоступные верхние слои мезосферы в районе мезопаузы. По предельным высотам радиофизические методы существенно превосходят традиционные оптические, а также методы измерения с помощью шаров-озонзондов и лидаров. Задачей измерений ВРО, проводимых в ФИАН, является исследование откликов озоносферы на протекающие атмосферные процессы [3]. Одной из важных задач таких исследований является изучение «отклика» озоносферы на сильные (мажорные) стратосферные потепления, которые нарушают зимнюю циркуляцию стратосферы. Изменение частоты и характера таких потеплений может повлиять на содержание стратосферного озона и на климат тропосферы [1, 10].

В данной работе представлены радиофизические методы наблюдений атмосферного озона, проводимых в ФИАН на ММ волнах, и результаты исследований вертикального распределения озона над Москвой во время значительных возмущений при среднезимнем стратосферном потеплении в 2010 г., а также в период сильного истощения озонового слоя в высоких широтах Северного полушария весной 2011 г.

2. МЕТОДЫ И АППАРАТУРА

Измерения вертикального распределения озона на миллиметровых волнах проводятся в ФИАН с помощью высокочувствительной спектральной аппаратуры. Регистрируется вращательная спектральная линия озона с центром на частоте 142,175 ГГц. Эта линия уширена столкновениями молекул, она содержит информацию о высотном распределении содержания озона в стратосфере и мезосфере. По форме регистрируемой спектральной линии, которая чувствительна к профилю ВРО, можно решить обратную задачу - восстановить вертикальный профиль содержания озона в стратосфере и мезосфере. Для решения этой задачи использован предложенный К.П.Гайковичем алгоритм [11], основанный на методах Тихонова [12] и статистической регуляризации [13].

Соотношение между яркостной температурой T_B спектра теплового радиоизлучения озона и его высотным профилем концентрации $U(h)$ после вычитания вклада других атмосферных составляющих может быть представлено в виде интеграла

$$T_B(\nu) = \int_0^{\infty} U(h) K(U, \nu, \theta, h) dh, \quad (1)$$

где $\mathbf{K} = K(U, \nu, \theta, h)$ - нелинейное ядро уравнения (1), ν и θ - частота и угол, под которым принимается излучение.

Высотный профиль распределения озона восстанавливается в результате решения (1) как нелинейного интегрального уравнения. В этом алгоритме на каждом шаге итерационного процесса интегральное уравнение Фредгольма 1-го рода решается методом обобщенной невязки Тихонова [12]. Метод решения этой некорректной обратной задачи, подробно описанный в [11, 14], успешно использовался при многолетних систематических наблюдениях динамики озоносферы над Москвой. Принимая во внимание, что правая часть (1) известна с погрешностью