

**В. В. Яковлев, В. Д. Лищина**

Харківська національна академія міського господарства

## **Актуальные вопросы использования воды в космических экспедициях средней продолжительности**

*Представлено 03.09.07*

---

Запропоновано використання окремого питного водозабезпечення космічних місій середньої тривалості, оскільки до цього часу не вирішена проблема повноцінної регенерації питної води. Зазначено недоліки йодування і сріблення — технологій знезаражування та тривалого зберігання води в системах водопостачання на космічних кораблях та запропоновано альтернативну технологію — за допомогою кременю. Обґрунтовано джерела екологічно чистої і фізіологічно повноцінної питної води у зв'язку з необхідністю забезпечення нею космічних місій. Поставлені питання щодо вивчення принципової придатності води з позаземних джерел і засобів її адаптації для питних цілей.

---

Человечество открывает новую страницу космической эры. Сразу несколько стран готовит программы экспансии ближних окрестностей Солнечной системы — Луны, Марса, астероидов и спутников планет-гигантов с участием людей. В ближайшие десятилетия предстоят экспедиции, продолжительность которых будет до 2-3 лет.

Одним из непростых вопросов жизнеобеспечения, которые необходимо решить, является обеспечение экипажей космических миссий водой. В случае непредвиденных обстоятельств космонавтам, находящимся на околоземной орбите или Луне, может быть оказана оперативная помощь вплоть до их возвращения на Землю. В случае же полетов к другим планетам на такую помощь рассчитывать нельзя. Поэтому надежность систем жизнеобеспечения должна быть значительно увеличена.

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ ВОДОЙ В КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ СРЕДНЕЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ**

Бесспорно, что водообеспечение длительных космических экспедиции должно базироваться

на оборотных системах, в которых вода после использования полностью регенерируется. Это в первую очередь обусловлено тем, что в массе грузов, предназначенных для жизнеобеспечения, вода составляет основную долю.

Однако в настоящее время нет уверенности в том, что системы регенерации воды обеспечивают полноценное водоснабжение, особенно это касается обеспечения качества питьевой воды. В земных условиях практически ни одна крупная система питьевого водоснабжения не базируется на сточной воде, которая подвергается лишь интенсивной очистке. Вода в той или иной мере проходит реабилитацию на земных «биолато» — отстойниках, биологических прудах, в проточных или непроточных водоемах. В противоположность этому дефицит пространства космических модулей для регенерации воды заставляет применять интенсивную технологию, основанную на обратном осмосе, устранившем из воды практически все растворенные вещества. Реминерализация такой воды обязательна: до определенного уровня минерализации она агрессивна по отношению к организму и активно растворяет все, с чем соприкасается [4, 6, 7]. Интенсивное выделение металлов из материа-

лов, контактирующих с водой, и низкие защитные (антитоксические) свойства воды, бедной кальцием, приводят к поступлению токсичных металлов в питьевую воду, вызывая тем самым отравления.

Исследования, проводившиеся в разных странах, показали, что есть связь между возросшим числом различных заболеваний, а также возникновением водной интоксикации (гипонатриемического шока) и употреблением мягкой воды. Риск такой «интоксикации» возрастает с уменьшением минерализации воды [4].

Искусственно обессоленная вода обладает недостаточными вкусовыми качествами для утоления жажды, а при длительном употреблении (начиная от полугода) приводит к серьезным отклонениям здоровья, требующим гораздо большего времени на восстановление. Также следует учитывать, что большинство питательных веществ в организм поступает с продуктами питания, а приготовление пищи на слабоминерализованной воде может заметно снизить общее поступление некоторых элементов. Причем эта нехватка гораздо серьезнее, чем при использовании этой воды только в питьевых целях.

После оценки гигиенических, органолептических свойств и другой информации ученые ВОЗ дали рекомендации по составу деминерализованной воды:

1) минимальная минерализация 100 мг/л; содержание гидрокарбонат-ионов 30 мг/л; кальций 30 мг/л;

2) оптимальный сухой остаток (250—500 мг/л для хлоридно-сульфатных вод и 250—500 мг/л для гидрокарбонатных вод);

3) максимальный уровень щелочности (6.5 мэкв/л), натрий (200 мг/л), бор (0.5 мг/л) и бромид-ион (0.01 мг/л) [4, 8].

Если реминерализация обессоленной воды — обязательное условие, возникает логичный вопрос: есть ли методики обработки воды, способные восстанавливать содержание некоторых важных минеральных веществ? При всех наших познаниях о воде мы не владем технологиями, аналогичными тем, которые обеспечивает земная природа. Можно сказать, что в плане приемлемости для организма искусственно насыщенная различными элементами и минералами, очищенная осмосом вода почти так же далека от природной, как и ненасыщенная.

Биофильные элементы, такие как кальций, магний, калий, фосфор, цинк, марганец, фтор, йод и др. извлекаются организмами из воды, и в дальнейшем требуется их восполнение в системах водоснабжения. Хотя исследования в этом направлении ведутся, биологическая роль многих других элементов в настоящее время еще не определена. Это подтверждается тем, что существующие стандарты воды [2, 3, 8] не регламентируют минимальные количества многих других микроэлементов.

В тоже время собственно питьевая вода как в обычных земных условиях, так и в космических экспедициях составляет не более 10 % от всего объема используемой воды, остальная идет на гигиенические, бытовые, технические и другие нужды.

Учитывая вышесказанное, до накопления опыта в практике полной регенерации воды, для космических экспедиций средней продолжительности (1—3 года) мы предлагаем применять такую систему водообеспечения, при которой питьевые нужды экипажа постоянно обеспечиваются новой водой, запасенной специально для этой цели. При этом количество воды на корабле не изменяется, никакие стоки не выбрасываются за борт, вода просто переходит из питьевого запаса в непитьевую, — т. е. поступает в систему регенерации, и дальше используется для непитьевых нужд. При этом системы регенерации должны быть рассчитаны на такое постоянное увеличение объема и соответствующее замедление водообмена. При наличии на космической станции оранжереи для выращивания свежих продуктов вышеуказанное добавление воды в водооборотную систему может использоваться на увеличение биомассы и изменение соотношения консервированных и свежих продуктов в пользу последних.

До настоящего времени на российских станциях «Мир» для обеззараживания и поддержания бактерицидности воды использовалось серебрение, на американских шаттлах и станции МКС — йодирование. Однако йод не является обычным компонентом природных вод, поэтому его избыточное содержание может иметь негативное влияние на организм человека. К тому же йод может реагировать с различными органическими компонентами, например с фенолом, и образовывать йодсодержащие органические вещества,

такие как тригалометаны и диметилфенолы [11].

Выраженный бактерицидный эффект серебрения, по данным ВОЗ, наблюдается при концентрациях ионов серебра свыше 150 мкг/л. При концентрациях 50—100 мкг/л ионы серебра обладают бактериостатическим действием (т. е. способностью сдерживать рост и размножение бактерий). Однако величина 50 мкг/л согласно российскому СанПиНу 2.1.4.539-96 является предельной для содержания его в питьевой воде, и ее превышение может приводить к токсическому действию серебра. Налицо противоречие.

На космических станциях, где использовалось серебро как бактерицидная добавка, конденсат воды не имел в своем составе растворенного серебра, что свидетельствует об аккумуляции серебра организмом. При длительном накоплении серебра возможно проявление признаков аргироза — отравления серебром [1].

Следует отметить также, что ионы серебра убивают отнюдь не все бактерии. Целый ряд микроорганизмов, например, спорообразующие бактерии более устойчивы к их воздействию.

В качестве альтернативы серебру и йоду для обеззараживания и сохранения воды, а также для кондиционирования воздуха космических станций мы предлагаем использовать кремень — опалово-халцедоновое соединение с окаменевшей органикой. Кремень является биокатализатором, способным ускорять окислительно-восстановительные реакции. При соединении с водой он угнетает рост бактерий гниения и брожения, выводит в осадок болезнетворную микрофлору, которая погибла, и соединения растворенных в воде тяжелых металлов: цинка, свинца, кадмия, железа, ртути. Нейтрализует хлор, нитратные соединения и сорбирует радионуклиды (сотрудники Института радиэкологических проблем НАН Белоруссии выявили повышение сорбции цезия-137 кремневой водой до 90—98 %).

Доказано, что кремневая вода препятствует накоплению стронция (в том числе и радиоактивного), а также и ускоряет его выведение из организма. Кремневая вода имеет выраженный радиозащитный эффект, который прямо зависит от времени ее использования [5].

Таким образом, задача предстоящих научных исследований — понять, чем отличается искус-

ственно подготовленная вода от воды, подготовленной природой. Если процессы так различаются физическими, химическими, биологическими параметрами, то они должны приводить к различным результатам. Поэтому необходимо начать исследования в актуальных для практики космических экспедиций направлениях:

- определение минимального объема биосферы для обеспечения полной регенерации воды в космических экспедициях;
- определение роли микроэлементов в формировании физиологической полноценности воды;
- обеспечение бактерицидности воды при ее длительном хранении;
- изменение качественных характеристик воды при ее извлечении из природной среды и последующем хранении.

#### ИСТОЧНИКИ ЗАПАСАНИЯ ВОДЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ

Если мы пришли к тому, что питьевая вода должна запасаться как отдельный ресурс, то возникает следующий вопрос: из каких источников ее запасать? Очевидно, что запасаемая вода должна быть из природного экологически чистого источника. Тогда определимся с этим понятием. При строгом подходе экологически чистой может считаться та вода, которая не несет следов антропогенного воздействия. Такой может быть вода, полностью очищенная природой (после антропогенного ее загрязнения), или вода, никогда не подвергавшаяся антропогенному загрязнению. Очевидно, что вторая категория надежнее. Запасы реликтовых пресных вод (сформированные в доиндустриальную эпоху) сосредоточены в нижних слоях крупных ледников и глубоких частях некоторых артезианских бассейнов [10].

Однако питьевая вода должна быть не только экологически чистой, но и физиологически полноценной. В настоящее время физиологически полноценной принято называть воду, показатели которой определяют адекватность ее минерального состава биологическим потребностям организма. Они основаны на необходимости для ряда биогенных элементов учета не только мак-

симально допустимых, а и минимально необходимых уровней их содержания в воде [2].

Показателями, которыми в настоящее время количественно определяется физиологическая полноценность (ФП), являются граничные содержания в воде (минимальные и максимальные) суммы растворенных веществ, солей жесткости, фтора, магния и показатель щелочности. Есть тенденция к расширению перечня этих показателей. Например, медики предлагают обращать внимание на соотношение кальция и магния, минимальное содержание натрия, калия, цинка, меди, марганца, кобальта [4].

Экологически чистая вода может быть одновременно физиологически неполноценной. Например, лед обычно имеет недостаток солей, теряемых при замерзании воды, а реликтовая подземная вода в силу своей старости может содержать избыток некоторых элементов — фтора, натрия, хлора, брома, бора, лития и др.

Физиологическую полноценность вода приобретает в биосфере Земли — в зоне активного водообмена при контакте с минеральным веществом и биотой. Животные и человек в естественных природных условиях приспособлены к использованию воды, имеющей определенные органолептические свойства: это речная, дождевая, а также грунтовая: родниковая, колодезная. По большому счету ФП — это свойство земной воды. Многие органолептические показатели воды, определяющие ее ФП (температура, газовый и бактериальный состав, вязкость и др.), при изъятии из природного резервуара изменяются, и за сравнительно короткий срок вода, хранимая в искусственных резервуарах, перестает быть в полном смысле физиологически полноценной.

Тем не менее, вода, изначально физиологически полноценная, имеет большое преимущество перед любой другой в силу именно приспособленности к живым системам. Потому другим подходом к источнику запаса воды для космических экспедиций является использование физиологически полноценной воды из зоны активного водообмена в наименее загрязненных местах планеты (заповедники, незаселенные территории), последующее максимальное поддержание ФП воды при ее хранении и максимально возможное восстановление ФП перед употреблением.

Поскольку ФП воды связана с приспособлени-

ем живых организмов к ее свойствам, необходимо учитывать также и аспект привыкания к воде определенного состава. Питьевая вода в арктических и в пустынных зонах имеет различный состав и свойства, и в тоже время она может быть в обоих случаях физиологически полноценной. Процесс привыкания конкретных индивидов, животных и людей, к воде определенного состава и свойств до недавнего времени мог длиться всю их жизнь.

Медики до недавнего времени рекомендовали не менять свое место жительства после достижения возраста 30—35 лет, поскольку вода в новой местности другая, и в сложившемся организме могут произойти неблагоприятные перестройки, вызванные нарушением баланса веществ. Действительно, есть различия состава растворенных в воде веществ для различных ландшафтов и континентов Земли. Например, средние содержания основных ионов в речных водах различных континентов изменяются в 2—8 раз [9]. Медики еще не изучили последствий этих аспектов глобализации — изменения качественных показателей потребляемой людьми воды и пищевых продуктов, доставляемых потребителям со всего мира. Поэтому при запасании воды необходимо обеспечивать то разнообразие воды, которое определяется участниками международных составов экспедиций.

Таким образом, актуальным является определение конкретных надежных источников экологически чистых и физиологически полноценных вод с целью запаса для космических экспедиций с учетом обеспечения необходимого разнообразия их составов.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ ВНЕЗЕМНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ

Источниками внеземной воды могут быть марсианский лед, кометы, лед, возможно находящийся на южном полюсе Луны, спутник Юпитера Европа, другие спутники планет-гигантов и многочисленные объекты пояса Койпера.

Пригодна ли внеземная вода для питьевых и гигиенических целей при первом контакте с организмом — это вопрос, на который положительного ответа пока нет. Мы считаем, что

определения свойств взеземной воды по перечню показателей, которыми мы пользуемся в земной практике, недостаточно. Кроме показателей химической токсичности, радиоактивных свойств, бактерицидности и общих органолептических свойств, обязательным должно быть проведение биотестирования.

Весьма вероятно, что биотестирование покажет отрицательный результат — трудно ожидать, что вода, миллионы лет не контактировавшая с биотой, окажется для нее благоприятной средой. В этом случае биологический метод также наиболее пригоден для «приспособления» взеземной воды — адаптации для использования в системах водообеспечения. В этой связи актуальны:

— применение биотестирования для определения пригодности воды взеземного происхождения для использования ее человеком;

— разработка «биологического реактора» для адаптации взеземной воды с целью ее использования для питьевых и гигиенических нужд. Принцип работы такого реактора заключается в ступенчатом приспособлении воды к микроорганизмам и биологическим системам вообще путем достижения равновесия между организмами и водой с депонированием неблагоприятных компонентов в отмершей биоте. Перед подачей в систему водообеспечения производится обычная (в земном понимании) водоподготовка с доведением до требуемых кондиций по бактериальным, органолептическим и, при необходимости, иным показателям.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Поскольку человек еще не готов обеспечить качество и надежность систем водообеспечения в космических полетах средней продолжительности необходимо при их осуществлении предусматривать отдельное питьевое водообеспечение.

2. Источником для запасаания воды в космические экспедиции должны быть сформированные в доиндустриальную эпоху реликтовые пресные воды ледников и глубоких горизонтов артезианских бассейнов.

3. Вода взеземного происхождения требует предварительной оценки с точки зрения ее пригодности и адаптации к нуждам человека с помощью биологических систем.

1. Большая Медицинская Энциклопедия.—23.—С. 190—192; 2.—С. 142—143, 523—525; 18.—С. 106.
2. Державні санітарні правила і норми «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання». — Київ, № 383 від 23.12.96.
3. Европейская Директива 98/83/ЕС от 3 ноября 1998 по качеству питьевой воды, предназначенной для употребления человеком // Журн. Европейского Сообщества.—1998.—L330.—С. 32—54.
4. Колизек Ф. Последствия для здоровья, возникающие при употреблении деминерализованной питьевой воды // Нутриенты в питьевой воде — Вода, санитария, охрана здоровья и окружающей среды: Сб. науч. тр. — Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2004.—С. 6—28.
5. Малярчиков А. Д. Кремень и человечество, или Кремень вновь обретает славу. — М.: АНК «ИТМО» им. А. В. Лыкова, 1998.—352 с.
6. Плитман С. И., Новиков Ю. В., Тулакина Н. В. и др. К вопросу коррекции стандартов по деминерализованной воде с учетом жесткости питьевой воды // Гигиена и санитария.—1989.—С. 7—10.
7. Рахманин Ю. А., Михайлова Р. И., Филиппова А. В. и др. Некоторые аспекты биологического влияния дистиллированной воды // Гигиена и санитария.—1989.—С. 92—93.
8. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. Третье издание. — Женева: ВОЗ, 2006.—Том 1: Рекомендации.—121 с.
9. Сытник К. М., Брайон А. В., Гордецкий А. В. Биосфера. Экология. Охрана природы: Справочное пособие. — Киев: Наук. думка, 1987.—206 с.
10. Яковлев В. В. О реликтовых пресных водах // Вісник Харков. нац. ун-та. Геологія-географія-екологія.—2003.—№ 610.—С. 12—15.
11. Methods for Developing Spacecraft Water Exposure Guidelines. — Washington: National Academy Press, 2000.—174 p.

#### TOPICAL ISSUES OF THE USE OF WATER IN SPACE FLIGHTS OF MODERATE DURATION

*V. V. Yakovlev, V. D. Lishchyna*

We propose to use the separate potable water provision of space flights of moderate duration, as the problem of sufficient regeneration of potable water has not been resolved up to the present. We point to some shortcomings of iodation and silvering for disinfection and long-term storage of water in water supply systems aboard spacecrafts and propose an alternative technology with the use of flint. The sources of ecologically clean and physiologically complete potable water are substantiated in relation to the needs of water supply during space flights. We raise some problems concerning the examination of the acceptability of the water in out-of-Earth sources and some means to adapt it to drinking.