

ОБЗОРЫ/REVIEWS

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.945–962>
УДК 636:582.261/.279



Можно ли решить проблему дефицита йода в Крыму, используя зеленые макроводоросли *Cladophora* в животноводстве? (обзор)

© 2025. Н. В. Шадрин¹, Е. В. Ануфриева¹, П. С. Остапчук^{1, 2}✉,
А. В. Празукин¹, Д. В. Зубоченко², Т. А. Куевда^{1, 2}

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, Российская Федерация,

²ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», г. Симферополь, Российская Федерация

От дефицита йода страдает около 68 % населения Земли, более 70 % территории России, включая Крым, относятся к йододефицитным территориям. Только лишь йодирование соли не решает данную проблему и имеет ряд негативных последствий. В обзоре рассмотрены факторы, ведущие к формированию дефицита йода в почвах и пресных водах. Показано, что аридность климата способствует формированию дефицита этого элемента в окружающей среде. В водах содержание йода положительно коррелирует с соленостью. Довольно давно в борьбе с дефицитом йода используются морские водоросли, особенно бурые. Однако для преодоления проблемы йододефицита целесообразнее в качестве удобрения, пищевых и кормовых добавок использовать зеленые макроводоросли из соленых и гиперсоленых вод, обладающие большим потенциалом. В гиперсоленых водоемах нитчатые водоросли *Cladophora* имеют высокие биомассу – 2,25 кг сух. массы/м² и продуктивность – до 1 кг (сух. массы)/м²/неделя, что на два порядка выше, чем у наземных растений и значительно больше, чем у бурых водорослей. Суммированы экспериментальные данные по использованию кормовой добавки из кладофоры (1 % от рациона) в кормлении кроликов, кур и других видов животных. Проведены расчеты, показывающие, что природных ресурсов зеленых нитчатых водорослей *Cladophora*, имеющих высокую продуктивность, вполне достаточно для решения проблемы йододефицита.

Ключевые слова: содержание йода, водоросли, кормовые добавки, рацион

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-66-00001, <https://rscf.ru/project/24-66-00001/>

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликтов интересов.

Для цитирования: Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В., Остапчук П. С., Празукин А. В., Зубоченко Д. В., Куевда Т. А. Можно ли решить проблему дефицита йода в Крыму, используя зеленые макроводоросли *Cladophora* в животноводстве? (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):945–962. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.945–962>

Поступила: 06.03.2025

Принята к публикации: 16.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Is it possible to solve the problem of iodine deficiency in Crimea using green macroalgae *Cladophora* in animal husbandry? (review)

© 2025. Nickolai V. Shadrin¹, Elena V. Anufrieva¹, Pavel S. Ostapchuk^{1, 2}✉,
Alexander V. Prazukin¹, Denis V. Zubochenko², Tatyana A. Kuevda^{1, 2}

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,

²Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

Approximately 68 % of the world's population suffers from iodine deficiency, and more than 70 % of Russia's territory, including Crimea, is classified as an iodine-deficient area. Salt iodination only does not solve this problem and has a number of negative effects. The review examines factors that cause the development of iodine deficiency in soils and fresh water. It is shown that climate aridity contributes to the development of the element deficiency in the environment. In water, iodine content positively correlates with salinity. Seaweeds, especially brown algae, have long been used to combat iodine deficiency. However, to overcome the problem of iodine deficiency it is more suitable to use green macroalgae from saline and hypersaline waters, having great potential as fertilizers, food and fodder additives. In hypersaline water bodies filamentous algae *Cladophora* have a high content of biomass – 2.25 kg dry mass/m² and have great productivity – up to 1 kg (dry mass)/m²/week, which is two orders of magnitude higher than that of terrestrial plants and significantly more than that of brown algae. The experimental data on the use of a feed additive from *Cladophora* (1 % of the diet) in feeding rabbits, chickens, and other animals are summarized. Calculations are made showing that the natural resources of green filamentous algae *Cladophora*, which have enormous productivity, are quite sufficient to solve the problem of iodine deficiency.

Keywords: iodine content, seaweed, feed additives, ration

Acknowledgments: the study was supported by the Russian Science Foundation, grant № 24-66-00001, <https://rscf.ru/project/24-66-00001/>

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflicts of interest.

For citations: Shadrin N. V., Anufrieva E. V., Ostapchuk P. S., Prazukin A. V., Zubochenko D. V., Kuevda T. A. Is it possible to solve the problem of iodine deficiency in Crimea using green macroalgae *Cladophora* in animal husbandry? Review. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):945–962. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.945-962>

Received: 06.03.2025

Accepted for publication: 16.09.2025

Published online: 31.10.2025

Дефицит йода наиболее распространен на планете, по сравнению с другими эссенциальными микроэлементами, в той или иной степени от него страдает 5,1 млрд человек, то есть 68 % всего населения Земли [1]. Йод относится к жизненно необходимым микроэлементам, влияющим на обмен белков, жиров, углеводов, он участвует в поддержании баланса между процессами энергетического обмена и синтеза новых веществ, функционировании эндокринной системы позвоночных животных [2, 3]. Дефицит йода ведет к множеству негативных последствий для человека, называемых йододефицитными заболеваниями, что происходит из-за недостаточной выработки гормонов щитовидной железы [4]. Недостаточная концентрация гормонов, связанных с дефицитом йода, нередко провоцирует развитие различных психологических проблем [5, 6] и вызывает слабость перед современными пандемиями, отмечена взаимосвязь между заболеваниями щитовидной железы и COVID-19 [7, 8]. Дефицит йода особенно опасен у беременных женщин и маленьких детей, вызывая задержку роста и являясь основной причиной умственной отсталости, что предотвращается путем регулярного введения в рацион пищи, обогащенной йодом [2, 9, 10, 11]. Даже незначительный дефицит йода у женщин во время беременности вызывает последующие образовательные и когнитивные нарушения у детей [12]. Дефицит йода до начала йодирования соли (1930–1990 гг.) был серьезной проблемой в Китае, где из-за этого от 5 до 15 % детей страдали легкой умственной отсталостью [10, 11]. Весомую долю в рационе человека составляют продукты животного происхождения, поэтому содержание йода в кормах для сельскохозяйственных животных напрямую сопряжено с поступлением йода человеку. Недостаток йода в кормах также понижает рентабельность животноводства, снижая иммунитет животных и уменьшая их прирост¹.

Таким образом, дефицит йода у столь значительной части человечества и последствия этого – глобальная проблема, требующая новых подходов к ее решению.

Цель обзора – показать возможный путь решения проблемы йододефицита в Крыму с использованием зеленой нитчатой водоросли *Cladophora*.

Материал и методы. В литературном обзоре привлечено 82 научных источника отечественных и зарубежных авторов, опубликованных преимущественно за последние 10 лет и отражающих проблему йододефицита и пути решения её в различных географических зонах. Предлагается использование природных запасов *Cladophora* из соленых и гиперсоленых водоемов в целях обогащения рациона животных. Поиск научных статей осуществляли с помощью мониторинга электронных библиотечных систем eLIBRARY.RU, Research Gate, Springer и Cyberleninka.

Основная часть. Йод: свойство и нахождение в природе. Йод – самый тяжелый из стабильных галогенов с атомным номером 53, биофильный редокс-чувствительный микроэлемент, является 60-м по распространенности элементом, его содержание в горных породах земной коры в среднем составляет 0,46 мг/кг [13, 14]. Йод не входит в состав породообразующих минералов. В магматических породах его концентрация в среднем составляет 0,24 мг/кг, в современных отложениях – от 5 до 200, в карбонатных породах – в среднем 2,7 мг/кг, в сланцах – 2,3, в песчаниках – 0,8 мг/кг. Отложения с большим количеством органического вещества более богаты йодом. Из-за низкой концентрации йода в горных породах их выветривание представляет незначительный приток йода в почвы и внутренние воды [14].

В почвах концентрация йода обычно гораздо выше, чем в подстилающих коренных породах и варьирует от 0,73 до 14,9 мг/кг в зависимости прежде всего от типа почвы и других характеристик ландшафта.

¹Карабаева М. Э. Проблема йододефицита у животных. Эффективное животноводство. 2018;(2(141)):28-29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32735626> EDN: YUSRIV

Меньшая часть йода в почве растворена в почвенной воде, а его большая часть связана с органическим веществом, глиной, оксидами алюминия и железа. В основном в почву йод поступает из атмосферы, куда он попадает из океанов (около 70 %), а также лесов, болот и озер. Поступление из Мирового океана в атмосферу представляет собой основной поток в глобальном цикле йода, но вероятно, что его прямое влияние на наземную среду ограничено лишь 50–80 км. Поэтому йод, присутствующий в почвах и водах в районах, удаленных от морей, обусловлен в значительной степени альтернативными наземными источниками [14]. В воде дождевых осадков континентального происхождения зарегистрирована общая концентрация йода в среднем 7,88 нМ, что в 5 раз меньше, чем в осадках морского происхождения 39,4 нМ [14, 15]. То есть, чем дальше от берега моря, тем меньше йода поступает в почву с осадками. Поэтому в прибрежных районах, расположенных не более 3 км от моря, ряда европейских стран (Франция, Германия, Ирландия) содержание йода в среднем в 5,3 раза больше, чем во внутренних частях [14]. Йод, входящий в состав органического вещества, составляет, как правило, более половины от того, что содержится в осадках и растворимом компоненте аэрозолей [14]. Близость к морскому побережью, обеспечивающему поступление йода через атмосферу, роза ветров, высота над уровнем моря, характер ландшафта и органическое вещество почвы являются наиболее важными факторами, определяющими йодный статус почвы [14, 16].

Таблица 1 – Усредненное содержание йода в водах морского происхождения при разной общей солености /
Table 1 – Average iodine content in thalassohaline waters at different total salinity

Элемент / Element	Соленость, г/л / Salinity, g/l							
	0	10	20	35	50	70	150	200
Йод / Iodine	2	19	36	60	87	114	280	380

Содержание йода в снеге и дождевой воде достоверно не различается, варьируя от 0,5 до 20 мг/л. Ежегодно 5×10^{11} г йода переносится из Мирового океана в атмосферу, поэтому с удалением от береговой полосы наблюдается уменьшение его концентрации в атмосферных осадках [14]. Отношение I/Cl в атмосфере намного выше, чем в морской воде (1×10^{-2}). Следовательно, существует механизм, который объясняет это обогащение йодом относительно хлора. Некоторое количество йода поступает в атмосферу непосредственно из морских брызг, однако это не может объяснить

Основная масса йода геосферы находится в Мировом океане. Содержание йода в морской воде меняется от 13 до 120 мкг/л, и в среднем составляет 60 мкг/л, в пресных водах его содержание ниже и очень вариабельно – в среднем 2 мкг/л; гиперсоленые поверхностные и подземные воды, имеющие соленость выше морской, обычно обогащены йодом – от 3 до 4000 мкг/л [14]. Йод в природных водоемах находится в виде йодата (IO_3^-), йодида (I^-) и органического йода, причем I^- преобладает в поверхностных водах, тогда как IO_3^- составляет большую долю в глубинных водах [17, 18, 19]. Геохимические процессы круговорота хлора и йода в значительной степени близки, что обуславливает рост концентрации йода с увеличением солености [14, 17]. Для морской воды разной солености отношение концентраций этих элементов (I/Cl) около $2,5 \times 10^{-6}$ [14]. В двух Средиземно-морских локациях показано, что в диапазоне солености от 0 до 41 г/л суммарное содержание минеральных форм йода достоверно ($p = 0,001$) линейно положительно коррелирует с соленостью [17]. Суммируя собственные и литературные данные, рассчитали усредненные концентрации йода в морской воде разной солености (табл. 1), от пресных до гиперсоленых вод (соленость 200 г/л) концентрация элемента увеличивается в 190 раз. Распределение йода в Мировом океане имеет географическую закономерность: с высокими концентрациями в теплых водах низких широт и низкими концентрациями в высоких широтах [20, 21].

столь существенное обогащение ее йодом. На поверхности моря присутствует богатая органическими веществами нейстонная пленка, в которой высокое содержание йода, что может вести к появлению аэрозолей, обогащенных йодом [14]. Растворимый органически связанный йод является, как правило, доминирующей фракцией в пробах дождевой воды и снега, с меньшим количеством йодида и йодата, что также подтверждает такое предположение [22]. Суммируя имеющиеся данные и обобщения, глобальный цикл йода можно представить в виде общей схемы (рис. 1).

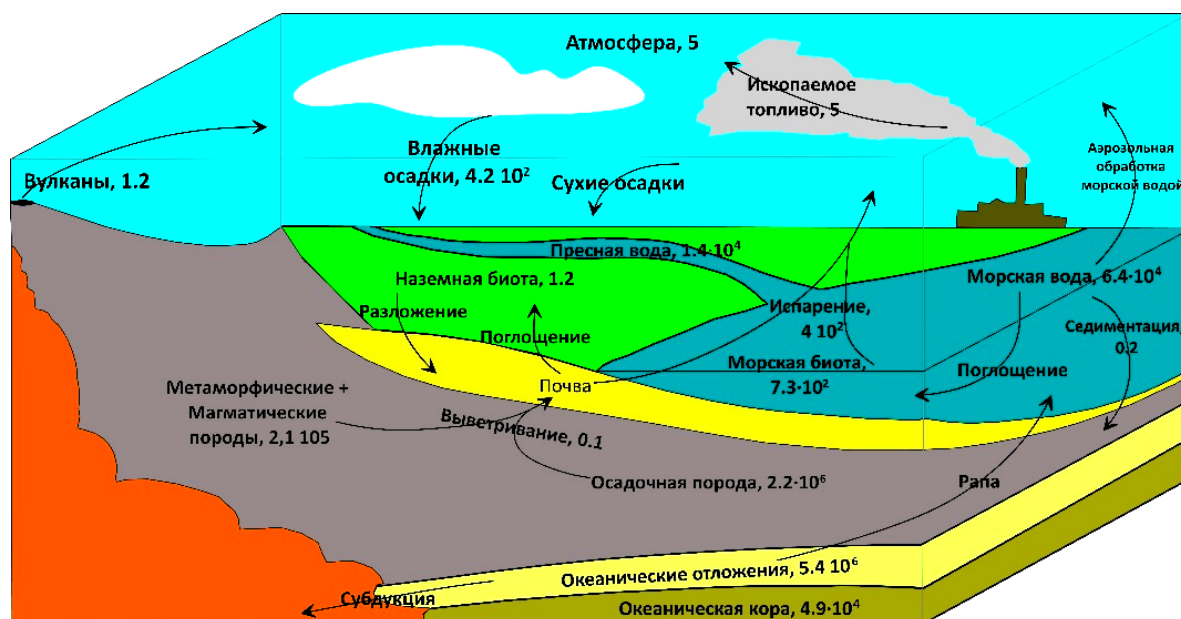


Рис. 1. Общая схема цикла йода с участием биоты. Единицы измерения: тераграммы, Тг /

Fig. 1. General diagram of the iodine cycle with the participation of biota. Units of measurement: teragrams, Tg

Определенная часть йода содержится в биомассе организмов, при этом его содержание напрямую зависит от концентрации в среде, которая не является строго линейной [14, 23]. Коэффициенты концентрирования йода в биомассе разных организмов при низком содержании йода в среде могут быть существенно выше, чем при более высоком². Содержание йода очень различается в организмах, обитающих в разных средах [14, 24]: в морских водорослях – от 30 до 1500 мкг/г сух. массы; морских животных – от 1 до 150 мкг/г сух. массы; наземных растений – от 0,1 до 7,0 и наземных животных – от 0,05 до 0,50 мкг/г сух. массы.

Йододефицитные провинции. Крым. Йод присутствует в почвах повсеместно, но распределен крайне неравномерно, выделяются биогеохимические провинции с его дефицитом³. Причины этой неоднородности кратко рассмотрены выше. В частности, суммарное поступление йода с атмосферными осадками на определенной территории зависит от ряда факторов, среди которых основными являются удаленность от моря и суммарное количество осадков. Между поступлением йода на поверхность почвы и суммой осадков показана близкая к линейной положительная достоверная зави-

симость [14, 22]. Поэтому практически все аридные регионы являются йододефицитными. Выше было также отмечено, что в теплых морских водах низких широт значительно большие концентрации йода, чем в высоких широтах, как и то, что с ростом солености концентрация йода увеличивается. Следовательно, с поверхности распресненных холодных северных морей в атмосферу, а затем и в почву поступает значительно меньше йода, чем с поверхности более теплых.

Потребность в йоде у человека зависит от его возраста и физиологического состояния. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, в РФ приняты следующие показатели: дети до 6 лет – 90 мкг/сут, дети 7–12 лет – 120, дети старше 12 лет и взрослые – 150, беременные и кормящие женщины 250 мкг/сут [25]. Йододефицитные провинции, где эти показатели не достигаются, занимают большую часть территории России, где проживает около 70 % населения [1]. Согласно данным Iodine Global Network, Российская Федерация относится к районам с умеренным дефицитом йода, его медианная концентрация в моче составляет 78 мкг/л [26].

²Летунова С. В., Алексеева С. А., Коробова Е. М. Концентрирование йода грибом *Penicillium chrysogenum*, обитающим в почвах Нечерноземной зоны. Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1986;10:94–98. [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2948572> (дата обращения: 16.02.2025).

³Ковальский В. В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии: избранные труды. М.: Россельхозакадемия, 2009. 356 с.

Выведение йода с мочой является хорошим индикатором потребления йода, рекомендованным индикатором йодного статуса населения является медиана, нормальные значения которой составляют 100–299 мкг/л у школьников и взрослых, а у беременных женщин – 150–249 мкг/л [27].

Республика Крым, несмотря на близость к морям, все же является регионом с критически низким содержанием йода как в источниках водоснабжения, так и в почвах [28]. Бедность полуострова йодом, в первую очередь, обусловлена его геологическими особенностями и аридностью климата. В последние десятилетия происходит аридизация климата в регионе [29], что может привести к росту дефицита йода. В. В. Ковальский установил нижние пороговые концентрации йода в почвах, которые составляют не менее 2–5 мг/кг при норме от 5 до 40 мг/кг, а избыточное содержание йода – более 40 мг/кг⁴. На основе этого он определил, что порядка 65 % территории Крыма относится к зоне с дефицитом йода в почве с концентрацией менее 5 мг/кг. В целом содержание йода в источниках питьевой воды горного Крыма: в реках – 24,4 мкг/л; в колодцах, скважинах и родниках – 17,5 мкг/л; однако для отдельных источников отмечена более низкая концентрация йода: для колодцев – 0,89 мкг/л и для скважин – до 1,75 мкг/л⁵. Диапазон концентрации йода в почвах Крыма варьирует от 0,50 до 2,95 мг/кг в степных районах, от 5,83 до 16,5 мг/кг – в предгорьях и прибрежных районах [30].

Синергизм действий йода и селена одинаково важен в метаболизме тиреоидных гормонов животных и человека [2, 31]. Йод – необходимый компонент для образования двух основных гормонов щитовидной железы (трийодотиронина и тетрайодотиронина). Селен необходим для синтеза селенобелков тиреоидного метаболизма, которые участвуют в метаболизме гормонов щитовидной железы, в контроле переработки избытка тиреоидных гормонов и вовлечены в антиоксидантную и иммунную защиту [32]. Одновременный дефицит йода и селена ведет к более выраженному гипотиреозу, чем при дефиците только йода. Крым, наряду с дефицитом йода, является

и селенодефицитным регионом [33], поэтому синергизм этих двух микроэлементов нельзя недоучитывать. Избыток йода в пище также может вести к патологическим состояниям [27, 34]. Достаточное количество селена в рационе защищает от токсических эффектов переизбытка йода [2, 35]. Рекомендуются следующие нормы потребления селена, мкг/сут: дети до 3 лет – 20; дети от 4 до 8 лет – 30; дети от 9 до 13 лет – 40; взрослые и дети старше 13 лет – 55; беременные и кормящие женщины – 60 и 70 мкг/сут соответственно [36]. Дефицит селена распространен в мире в меньшей степени, чем йода, но от него страдает 38 % населения планеты [1].

Йододефицит и животноводство. Реакции сельскохозяйственных животных на дефицит йода не отличаются от таковых у людей [37, 38]. Источником питательных веществ для животноводства и птицеводства являются преимущественно растительные корма. Поскольку содержание йода в кормах йододефицитных провинций понижено, то это сказывается и на выращиваемых животных. В настоящее время предложены следующие обобщенные критерии оценки суточного поступления йода с кормами в животноводстве [39]: от 6 до 60 мкг/кг/день – относительно нормальный уровень поступления; от 3 до 6 мкг/кг/день – недостаточное поступление/риск заболевания; от 60 до 100 мкг/кг/день – риск субтоксикоза.

Концентрация йода в растениях связана с его содержанием в почвах: при концентрации йода в почвах 5 мг/кг, в растениях в среднем будет 2,5 мг/кг [40]. В этом случае крупный рогатый скот, питающийся травой в пастбищный период, недополучает необходимое количество йода, т. е. дефицит йода в окружающей среде приводит к дефициту йода в организме, в частности коров, у которых отмечаются различные патологические изменения, нарушения репродуктивных функций, повышается смертность молодняка [41]. Дефицит йода влияет на сопротивляемость организма к болезням, ведет к гиперплазии щитовидной железы, снижению активности обменных процессов, подавлению синтеза белка и усилению отложений жира, повышается заболеваемость и падает продуктивность животных [42]. Все это

⁴Ковальский В. В. Указ. соч.

⁵Березкин В. Ю., Каюкова Е. П., Ушакова Л. В. Содержание йода в водах питьевого назначения Горного Крыма как один из возможных факторов и индикатор йододефицита. Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека: тр. XI Международн. биогеохимической школы, посвящ. 120-летию со дня рождения В. В. Ковальского: в 2 томах. Тула: Тульский ГПУ им. Л.Н. Толстого, 2019. Т. 2. С. 125–128.

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38530268> EDN: RUWHFX

создает не только угрозу йододефицита у людей, потребляющих мясные продукты, но и существенному уменьшению эффективности и экономической выгоды животноводства, особенно на фоне наличия и селенодефицита на полуострове.

Способы борьбы с йододефицитом. Уже в начале XIX в. препараты йода стали применять как лекарственное средство⁶. Французский врач Гаспар Адольф Шатен был первым, кто доказал, что зоб щитовидной железы связан с дефицитом йода и предложил использование микродозы йода в борьбе с этим заболеванием. В 1895 г. было экспериментально доказано влияние щитовидной железы на обмен веществ [43]. К началу XX в. сформировались научные предпосылки для организации массовой профилактики зоба, и первые масштабные мероприятия с применением йодированной соли были осуществлены в 1916–1920 гг. в США⁷. Швейцария стала первой страной, которая приняла закон (1922 г.) о производстве йодированной соли для массовой профилактики зоба щитовидной железы у населения, чуть позже йодированную соль стали выпускать и в других странах Европы, в СССР программу по йодированию соли начали в 1933 году с наращиванием ее производства⁸. К настоящему времени в 95 странах из 130, где в почвах и водах наблюдается дефицит йода, существуют законодательные акты по обязательному йодированию соли. Не рассматривая далее вопрос йодирования соли, лишь отметим, что наряду с весьма существенными положительными результатами по профилактике йододефицитных заболеваний имеется и ряд негативных моментов, ведущих к распространению ряда заболеваний [27, 34].

Другое направление борьбы с дефицитом йода связано с увеличением его концентрации в пищевых продуктах. Обязательное обогащение хлеба йодом было введено в Австралии в 2009 г., что также показало успешность этой меры [44].

В настоящее время разработаны разные способы повышения концентрации йода в продуктах питания, большинство из которых основаны на добавлении иодитов или иодатов в конечные продукты. Их в настоящем обзоре рассматривать не будем, т. к. не считаем их

достаточно целесообразными и экономически рентабельными.

Еще один подход основан на выращивании растений на почвах, обогащенных йодом. Внесение в почву удобрений с повышенным содержанием йода и селена не только увеличивает концентрацию этих микроэлементов в биомассе зерновых, но и повышает всхожесть и рост растений [45]. Обогащенные йодом корма затем используются для выращивания животных с повышенным содержанием йода в мясе, молоке, яйцах. В ряде стран, наряду с йодированием соли, существуют государственные программы по использованию йодсодержащих добавок в животноводстве для повышения количества йода в животноводческой продукции: увеличение йода в кормах может повышать его содержание в молоке в 15 раз, в яйцах – в 100 раз; в США 50 % йода взрослое население получает с молочными продуктами, а дети – до 80 %⁹.

В Российской Федерации в настоящий момент зарегистрировано 113 йодсодержащих кормовых добавок, из них 29 % предназначены для крупного рогатого скота и 29 % – для птицы. Более половины добавок – 58,41 % – произведены искусственным путем – на основе химического или микробиологического синтеза [46]. Источником питательных веществ для животноводства и птицеводства Республики Крым являются преимущественно растительные корма. Поскольку на полуострове содержание йода в кормах сопряжено с его дефицитом в почве, то следует широко внедрять способы обогащения этим ценным элементом рационов животных и птицы.

Самым простым очевидным способом предотвращения дефицита йода является искусственное насыщение этим микроэлементом кормов и воды. За прошедшее столетие государственные программы профилактики йододефицита были успешно разработаны и внедрены во многих странах мира. В большинстве случаев это достигается обогащением йодом поваренной соли и кормов для сельскохозяйственных животных [10, 46]. Как правило, йодная профилактика ограничивается добавлением в рацион питания калиевой соли иодоводородной кислоты (KI), которая характеризуется

⁶ Антонова М. С. Борьба с йод-дефицитом: история и современность. Исследовано в России. 2004;(7):2190–2198.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/borba-s-yod-defitsitom-istoriya-i-sovremennost/viewer>

⁷ Там же.

⁸ Николаев О. В. Эндемический зоб. М.: Медгиз, 1955. 257 с.

⁹ Спиридонов А. А., Мурашова Е. В. Обогащение йодом продукции животноводства. Нормы и технологии. СПб.: ООО «Типография «Бреста», 2010. 96 с.

¹⁰ Там же

высоким уровнем растворимости. Однако этот препарат далеко не всегда оказывается эффективным. Дело в том, что соль KI окисляется в сильной степени под действием солнечных лучей, при этом она способна вступать в химическую реакцию с другими минеральными смесями, входящими в состав кормов, образуя в результате совершенно нерастворимые комплексы и негативно влияя на некоторые процессы в организмах животных [40, 41]. Передозировка йода может вести к заболеваниям животных. Рост случаев гипертиреоза ведет к пересмотру подхода к доставке йода в организм сельскохозяйственных животных с использованием не минеральных солей йода, а его органических соединений [42, 46]. В органическом комплексе йод усваивается организмом только при дефиците элемента, если же его достаточно, то он медленно выводится. Органические соединения йода практически не могут привести к токсикозу животных, и микроэлемент в их составе действует эффективнее.

И еще одно перспективное направление – большее употребление в пищу морепродуктов, в которых концентрация йода значительно выше, чем в наземных растениях и организме животных [14]. В 1811 г. французский химик Бернар Куртуа открыл новый элемент, названный йодом, выделив его из морских водорослей [47]. Поэтому неудивительно, когда Г. Шатен установил, что зоб щитовидной железы связан с дефицитом йода, морские водоросли вскоре стали использовать для профилактики и лечения этого заболевания [47, 48, 49]. Наибольшая концентрация йода (до более 1 % сухой массы тела) среди морских организмов зафиксирована у некоторых видов бурых водорослей [14].

При этом не надо упускать из виду то, что чрезмерное употребление морепродуктов может вести к росту заболеваемости, в частности к гипертиреозу [49, 50]. В популяциях с избытком йода дисфункция щитовидной железы чаще всего обусловлена аутоиммунными заболеваниями щитовидной железы, для которых характерно наличие циркулирующих аутореактивных антител, специфичных к щитовидной железе [34]. Существующая в Японии культура потребления морепродуктов, включая водоросли, позволяет обеспечивать население Страны Восходящего Солнца йодом практически полностью, так как концентрация йода в морепродуктах, особенно водорослях, высока

и составляет от 16 до 6000 мкг/г. В результате количество йода, которое японцы потребляют ежедневно, оценивается в пределах от 13,5 до 45,0 мг в сутки, что в 4,5–15,0 раз превышает безопасный верхний предел, составляющий 3 мг/сут, установленный Министерством здравоохранения, труда и социального обеспечения Японии [50]. Существенных проблем с передозировкой йода удастся избежать на островном государстве, возможно, по следующим причинам. Избыток йода ухудшает симптомы у людей с уже сформировавшимся аутоиммунным заболеванием или другими сопутствующими заболеваниями щитовидной железы. Гипотиреоз все еще часто встречается у населения Японии и в большинстве случаев подавляется путем ограничения потребления морских водорослей [51, 52]. В азиатских культурах морские водоросли обычно подаются с продуктами, такими как брокколи, капуста, соя, которые содержат зобогенные гормоны [53]. Вещества, содержащиеся в этих продуктах, ингибируют поглощение йода щитовидной железой (например, изотиоцианаты крестоцветных или изофлавоны сои). Морские водоросли концентрируют в себе и другой галоген – бром, а если морские водоросли с повышенным содержанием брома и низким содержанием йода будут употреблены в пищу, организм переходит в состояние дефицита йода. В этом случае может ингибироваться синтез гормонов щитовидной железы в следствие присоединения брома к остаткам тирозина в молекуле тиреоглобулина вместо йода [53, 54, 55]. Поэтому проблема с передозировкой йода при употреблении морепродуктов не так опасна.

Зеленые нитчатые водоросли Cladophora в профилактике дефицита йода. Максимальные концентрации йода среди водорослей найдены у представителей бурых водорослей, которым и уделяется значительно больше внимания в деле преодоления дефицита йода. Как показывают результаты различных исследований, зеленые водоросли накапливают меньше йода – до 1000 мкг/г сухой массы (табл. 2). Йод может находиться в биомассе водорослей как в минеральной форме (йодиты и йодаты), так и в составе органических молекул (йодоллипиды, йодопротеины и др.). При этом в бурых водорослях на минеральный йод приходится от 30 до 90 % его общего содержания, у красных – от 30 до 44 %, у зеленых – всего от 9 до 18 %¹¹.

¹¹Саенко Г. Н. Металлы и галогены в морских организмах. М.: Наука, 1992. 200 с.

Таблица 2 – Найденные концентрации йода в различных видах зеленых макроводорослей /
Table 2 – Iodine concentrations found in different species of green macroalgae

Вид / Species	Район / Region	Концентрация, мкг/г сухой массы / Concentration, µg/g dry mass	Источник / References
<i>Chaetomorpha moniligera</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	10	_12
<i>Cladophora glomerata</i>	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	35	[56]
<i>Cladophora pellucida</i>		95	[56]
<i>Cladophora pinnulate</i>	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	489	[58]
<i>Cladophora stimpsonii</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	40	_13
<i>Cladophora vagabunda</i>	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	181–645	[58]
<i>Cladophora</i> spp.		188	[58]
<i>Codium yessoense</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	81	_14
<i>Enteromorpha clathrata</i>		10	_15
<i>Enteromorpha prolifera</i>	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	31	[56]
<i>Ulva fasciata</i>	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	330–761	[58]
	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	40	[56]
<i>Ulva fenestrata</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	81	_16
	Остров Итуруп, Охотское море / Iturup Island, Sea of Okhotsk	20	_17
<i>Ulva intestinalis</i>	Атлантический океан, у берегов Ирландии / Atlantic Ocean, off the coast of Ireland	92	[55]
	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	520–780	[58]
<i>Ulva lactuca</i>	Японское море / The Sea of Japan	30–185	[19]
	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	74–389	[58]
	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	47	[56]
<i>Ulva linz</i>	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	130	[56]
<i>Ulva rigida</i>	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	48	[58]
	Черное море / Black Sea	946	[59]
<i>Ulva</i> spp.	-	29–290	[47]
<i>Ulvaria splendens</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	130	_18
<i>Undaria pinnatifida</i>	Японское море / Sea of Japan	30–185	[19]

¹²Саенко Г. Н. Указ. соч.

¹³Там же.

¹⁴Там же.

¹⁵Там же.

¹⁶Там же.

¹⁷Там же.

¹⁸Там же.

При избыточном поступлении йода в минеральной форме негативные эффекты в организме выражены сильнее, чем в случае его органических форм [54, 55]. При обработке биомассы водорослей, сушка или кипячение, минеральные формы йода улетучиваются существенно быстрее, чем органические. В экспериментах по дегидратации (сушка) различных водорослей определили, что бурые водоросли при сушке в среднем теряли 62 % начального содержания йода, красные – 15 % и зеленые – 10 %, а при кипячении 75 %, 32 и 14 % соответственно [56]. Близкие результаты получены и другими исследователями [49]. Таким образом, при длительном хранении и переработке в бурых водорослях потери составляют в 4–5 раз больше, чем в зеленых, т. е. концентрация йода в них становится практически одинаковой. Кроме этого, выявлено также, что у зеленых макроводорослей общая антиоксидантная активность, как правило, выше, чем в красных и бурых, как и концентрация некоторых других ценных для организма животных компонент [57, 58].

Среди зеленых водорослей максимальные концентрации йода отмечены у представителей двух родов *Cladophora* и *Ulva* (табл. 2). Оба рода широко представлены в Азово-Черноморском регионе, однако *Cladophora* с точки зрения заготовки и использования

более предпочтительна, т. к. ее суммарная продукция огромна, формируются скопления с высокой концентрацией биомассы, сбор довольно прост. Поэтому основное внимание уделено именно ей.

Нитчатые зеленые водоросли рода *Cladophora* широко распространены в Крыму в водах с разной соленостью – от пресной до гиперсоленой, достигая особенно большого развития в гиперсоленых водах, заливе Сиваш и многочисленных озерах [60, 61, 62]. Кладофора характеризуется очень высокой скоростью продуцирования в природе – до 5 мг (сух. массы)/г/час или 1000 г (сух. массы)/м²/неделя [61], что на два порядка выше, чем у наземных растений и значительно больше, чем у бурых водорослей. При интенсивном развитии она создает плавучие и донные маты с биомассой до 2,25 кг сух. массы/м², которые могут занимать, например в гиперсоленом заливе Сиваш (рис. 2) и озерах Тобечикское, Бакальское и других десятки квадратных километров [60, 62]. Благодаря высоким характеристикам продуктивности и ценному химическому составу, в ряде стран начинает развиваться массовое культивирование разных видов *Cladophora* [63]. В то же время отмеченные максимальные концентрации биомассы *Ulva* в Черном море на порядок ниже [64].



Рис. 2 – Маты зеленой нитчатой водоросли *Cladophora* в гиперсоленом заливе Сиваш (Азовское море)
Fig. 2 – Mats of green filamentous algae *Cladophora* in the hypersaline Sivash Bay (Sea of Azov)

Примерная оценка показала, что в биомассе кладофоры, которую ежегодно можно заготавливать в Крыму без ущерба для экосистем гиперсоленых водоемов, не менее 5 млн тонн [62], суммарное содержание йода будет не менее 500 тонн. Учитывая, что с увеличением солености повышается концентрация йода в воде и соответственно в биомассе водорослей [23], такая оценка будет заниженной. Этого количества более чем достаточно для полного

решения вопроса йододефицита на полуострове. Беря во внимание то, что в кладофоре селена содержится в среднем 8 мкг/г сухой массы, расчет показал, что это сможет решить и проблему селенодефицита в Крыму [65]. Дополнительно примем во внимание и то, что в биомассе кладофоры содержится большое количество других компонент, весьма ценных для здоровья людей и выращиваемых животных [63].

Исходя из анализа литературных данных и наших предварительных исследований, существует несколько возможных направлений использования кладофоры для решения вопроса йододефицита. *Во-первых, пищевое использование кладофоры.* Во многих странах Азии и на островах Тихого океана население, проживающее вдоль побережий рек, озер и морей, на протяжении столетий традиционно использует биомассу кладофоры и других зеленых макроводорослей в пищу и для лечения разных заболеваний [63, 66]. В настоящее время разрабатываются предложения по добавке порошка макроводорослей в различные пищевые продукты (хлеб, рыбные котлеты, колбасы и др.) для увеличения в них концентрации йода и других эссенциальных веществ [67]. На взгляд авторов, это направление имеет хорошие перспективы в таких регионах, как Крым.

Во-вторых, использование биомассы кладофоры в качестве удобрения. Современное сельское хозяйство ищет новые технологии, которые позволили бы сократить применение синтетических удобрений без снижения урожайности, в частности за счет удобрений из морских водорослей [63]. Такое использование водорослей началось еще в античные времена, а сейчас наблюдается новый подъем интереса к этому вопросу во многих странах мира. Опыт разных стран показал, что их эффективное использование для этих целей возможно: в качестве компоста, через получение биоугля; в виде сухого порошка; в форме жидких удобрений [63]. Вероятно рациональней всего иметь в виду все эти подходы, адаптируя их комбинации к конкретным условиям в каждом случае.

В-третьих, использование кормовых добавок из кладофоры в животноводстве, птицеводстве и пресноводном рыбоводстве. Исследования и эксперименты в этом направлении успешно ведутся с разными животными во многих странах [63]. К настоящему времени весьма положительные результаты применения кормовых добавок из кладофоры показаны на жвачных животных, свиньях, кроликах, бройлерах, курах-несушках, рыбах и креветках.

Более ранние исследования в Крыму показали высокую степень усвоения органической формы йода в липосомальной форме, благодаря которой возможно практически полностью устранить недостаток йода в организме овец [68], кроликов [69] и птицы [70]. Однако производство такой формы затратно и практически недоступно на региональном уровне из-за ее дороговизны и необходимости

длительной транспортировки сырья с побережья к месту изготовления, а затем готового препарата – в Крым, к месту использования.

Исходя из вышесказанного, был разработан способ получения гранулированной кормовой добавки из зеленой нитчатой водоросли кладофоры [65]. Используя биомассу кладофоры, собранную в одном из гиперсолёных озер Крыма, получили опытную партию кормовой добавки и изучили ее влияние на кроликов и бройлеров. У молодняка кроликов, в рацион которых включали добавку кладофоры в размере 1 % от общего рациона, по сравнению с контрольной группой, отметили увеличение убойной массы на 14 %, при этом концентрация йода в мясе увеличилась в 4,8 раза [71]. Гематологические показатели крови кроликов также отреагировали на это положительно [72].

Обобщенные данные и проведенные расчеты показали, что потенциальная ежегодная глобальная экономическая выгода от борьбы с йододефицитными заболеваниями может превышать 40 млрд долларов [73]. В Германии общие годовые затраты, связанные с йододефицитными заболеваниями, составляют 8 млн евро [74]. В РФ, как показывают сделанные оценки [75]: в 2020–2022 гг. на одного пациента с йододефицитным заболеванием наше государство затрачивало примерно 10222 рубля в год, и это без учета косвенных потерь (оплата больничных листов, реабилитация, затраты на содержание инвалидов, предотвращение репродуктивных потерь, йодная профилактика лекарственными препаратами и т. д.).

Заключение. Показано, что *Cladophora* из соленых и гиперсоленых водоемов характеризуется высоким содержанием йода, в связи с чем использование этих водорослей на Крымском полуострове является тем незадействованным потенциалом, который позволит обогащать рационы питания сельскохозяйственных животных и птицы органическим йодом в доступной форме. Экспериментально доказано, что использование в кормлении сельскохозяйственных животных добавок из кладофоры (1 % суммарного рациона) является не только способом существенного повышения концентрации йода в мясе, молоке, яйцах, но может вести к росту рентабельности, по крайней мере, кролиководства и птицеводства. Говоря о перспективах использования биомассы кладофоры для профилактики йододефицита, нельзя упускать из виду и экономическую составляющую. Использование данного ресурса

будет вести не только к существенному снижению расходов, связанных с йододефицитными заболеваниями, но и прямой экономической

выгоде, обусловленной увеличением рентабельности животноводства, птицеводства, аквакультуры.

Список литературы

1. Passarelli S., Free C. M., Shepon A., Beal T., Batis C., Golden C. D. Global estimation of dietary micronutrient inadequacies: a modeling analysis. *The Lancet Global Health*. 2024;12(10):e1590–e1599. DOI: [http://doi.org/10.1016/S2214-109X\(24\)00276-6](http://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00276-6)
2. Скальная М. Г. Йод: биологическая роль и значение для медицинской практики. Микроэлементы в медицине. 2018;19(2):3–11. DOI: <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2018-19-2-3-11> EDN: YKVYKL
3. Zimmermann M. B. Chapter 25 - Iodine and the iodine deficiency disorders. In: *Present Knowledge in Nutrition* (Eleventh Edition). Vol. 1: Basic Nutrition and Metabolism. Academic Press: London. 2020. P. 429–441. DOI: <http://doi.org/10.1016/b978-0-323-66162-1.00025-1>
4. Трошина Е. А., Маколина Н. П., Колпакова Е. А., Никифорович П. А., Исаева М. П., Абдулхабирова Ф. М., Платонова Н. М. Структурные и морфологические характеристики узлового зоба в условиях хронического дефицита йода. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2023;19(1):20–28. DOI: <http://doi.org/10.14341/ket12748> EDN: TMOCOI
5. Luft M. J., Aldrich S. L., Poweleit E., Prows C. A., Martin L. J., DelBello M. P. et al. Thyroid function screening in children and adolescents with mood and anxiety disorders. *The Journal of Clinical Psychiatry*. 2019;80(5):18m12626. DOI: <http://doi.org/10.4088/JCP.18m12626>
6. Hirtz R., Föcker M., Libuda L., Antel J., Öztürk D., Kiewert C. et al. Increased prevalence of subclinical hypothyroidism and thyroid autoimmunity in depressed adolescents: results from a clinical cross-sectional study in comparison to the general pediatric population. *The Journal of Clinical Psychiatry*. 2021;82(2): 20m13511. DOI: <http://doi.org/10.4088/JCP.20m13511>
7. Damara F. A., Muchamad G. R., Ikhsani R., Syafiyah A. H., Bashari M. H. Thyroid disease and hypothyroidism are associated with poor COVID-19 outcomes: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 2021;15(6):102312. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.102312>
8. Xiong X., Wong C. K., Au I. C., Lai F. T., Li X., Wan E. Y. et al. Safety of inactivated and mRNA COVID-19 vaccination among patients treated for hypothyroidism: a population-based cohort study. *Thyroid*. 2022;32(5):505–514. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2021.068>
9. Biban B. G., Lichiardopol C. Iodine deficiency, still a global problem? *Current Health Sciences Journal*. 2017;43(2):103–111. DOI: <http://doi.org/10.12865/CHSJ.43.02.01>
10. Sun D., Codling K., Chang S., Zhang S., Shen H., Su X. et al. Eliminating iodine deficiency in China: achievements, challenges and global implications. *Nutrients*. 2017;9(4):361. DOI: <http://doi.org/10.3390/nu9040361>
11. Yao N., Zhou C., Xie J., Li X., Zhou Q., Chen J., Zhou S. Assessment of the iodine nutritional status among Chinese school-aged children. *Endocrine Connections*. 2020;9(5):379–386. DOI: <http://doi.org/10.1530/EC-19-0568>
12. Farebrother J., Dalrymple K. V., White S. L., Gill C., Brockbank A. et al. Iodine status of pregnant women with obesity from inner city populations in the United Kingdom. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2021;75:801–808. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41430-020-00796-z>
13. Taylor S. R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1964;28(8):1273–1285. DOI: [http://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90129-2](http://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90129-2)
14. Fuge R., Johnson C. C. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry*. 2015;63:282–302. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.013>
15. Suess E., Aemisegger F., Sonke J. E., Sprenger M., Wernli H., Winkel L. H. Marine versus continental sources of iodine and selenium in rainfall at two European high-altitude locations. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(4):1905–1917. DOI: <http://doi.org/10.1021/acs.est.8b05533>
16. Wang W., Wang X., Zhang B., Chi Q., Liu Q., Zhou J. et al. Spatial distribution of iodine in the pedosphere of China and its influencing factors. *Journal of Geochemical Exploration*. 2023;248:107191. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jexplo.2023.107191>
17. Abdel-Moati M. A. Iodine speciation in the Nile River estuary. *Marine Chemistry*. 1999;65(3–4):211–225. DOI: [http://doi.org/10.1016/s0304-4203\(99\)00003-1](http://doi.org/10.1016/s0304-4203(99)00003-1)
18. Truesdale V. W. The biogeochemical effect of seaweeds upon close-to natural concentrations of dissolved iodate and iodide in seawater: preliminary study with *Laminaria digitata* and *Fucus serratus*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2008;78(1):155–165. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.11.022>
19. Smyth P. P. Iodine, seaweed, and the thyroid. *European Thyroid Journal*. 2021;10(2):101–108. DOI: <http://doi.org/10.1159/000512971>
20. Carpenter L. J., Chance R. J., Sherwen T., Adams T. J., Ball S. M., Evans M. J. et al. Marine iodine emissions in a changing world. *Proceedings of the Royal Society A*. 2021;477(2247):20200824. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspa.2020.0824>
21. Moriyasu R., Bolster K. M., Hardisty D. S., Kadko D. C., Stephens M. P., Moffett J. W. Meridional survey of the central pacific reveals iodide accumulation in equatorial surface waters and benthic sources in the abyssal plain. *Global Biogeochemical Cycles*. 2023;37(3):e2021GB007300. DOI: <http://doi.org/10.1029/2021GB007300>

22. Gilfedder B. S., Lai S. C., Petri M., Biester H., Hoffmann T. Iodine speciation in rain, snow and aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2008;8(20):6069–6084. DOI: <http://doi.org/10.5194/acp-8-6069-2008>
23. Van Bergeijk S. A., Hernández L., Zubia E., Cañavate J. P. Iodine balance, growth and biochemical composition of three marine microalgae cultured under various inorganic iodine concentrations. *Marine Biology*. 2016;163:107. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00227-016-2884-0>
24. Ермаков В. В., Ковальский Ю. В. Живое вещество биосферы: масса и химический элементный состав. *Геохимия*. 2018;(10):931–944. DOI: <http://doi.org/10.1134/S0016752518100060> EDN: XZZFKH
25. Попова А. Ю., Тутельян В. А., Никитюк Д. Б. О новых (2021) нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. *Вопросы питания*. 2021;90(4):6–19. DOI: <http://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19> EDN: VSSZQJ
26. Алферова В. И., Мустафина С. В., Рымар О. Д. Йодная обеспеченность в России и мире: что мы имеем на 2019 год? *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2019;15(2):73–82. DOI: <http://doi.org/10.14341/ket10353> EDN: VRVVZZ
27. Karbownik-Lewińska M., Stępiak J., Iwan P., Lewiński A. Iodine as a potential endocrine disruptor – a role of oxidative stress. *Endocrine*. 2022;78(2):219–240. DOI: <http://doi.org/10.1007/s12020-022-03107-7>
28. Березкин В. Ю., Глебов В. В., Каюкова Е. П. Причины низкого содержания йода в почвенном покрове и водах питьевого назначения второй гряды Горного Крыма. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2023;31(4):521–532. DOI: <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-521-532> EDN: RRUUQN
29. Shadrin N., Mirzoeva N., Proskurnin V., Anufrieva E. The vertical distribution of 27 elements in bottom sediments reflects the modern history of the hypersaline lagoon. *Regional Studies in Marine Science*. 2023;67:103183. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103183>
30. Безруков О. Ф., Зима Д. В., Михайличенко В. Ю., Хабаров О. Р., Самарин С. А. Эволюция взглядов на патогенез и хирургическое лечение патологии щитовидной железы в Крыму. *Таврический медико-биологический вестник*. 2022;25(3):163–167. DOI: <http://doi.org/10.29039/2070-8092-2022-25-3-163-167> EDN: GIMTDZ
31. Dijk-Brouwer D. J., Muskiet F. A., Verheesen R. H., Schaafsma G., Schaafsma A., Geurts J. M. Thyroidal and extrathyroidal requirements for iodine and selenium: A combined evolutionary and (Patho)Physiological approach. *Nutrients*. 2022;14(19):3886. DOI: <http://doi.org/10.3390/nu14193886>
32. Трошина Е. А., Сеньюшкина Е. С., Терехова М. А. Роль селена в патогенезе заболеваний щитовидной железы. *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2018;14(4):192–205. DOI: <http://doi.org/10.14341/ket10157> EDN: NOEQGO
33. Евстафьева Е. В., Голубкина Н. А., Бояринцева Ю. А., Богданова А. М., Тымченко С. Л. Обеспеченность селеном городских жителей на территории Крымского полуострова. *Гигиена и санитария*. 2021;100(2):147–153. DOI: <http://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-147-153> EDN: SIAIYP
34. Taylor P. N., Albrecht D., Scholz A., Gutierrez-Buey G., Lazarus J. H., Dayan C. M., Okosieme O. E. Global epidemiology of hyperthyroidism and hypothyroidism. *Nature Reviews Endocrinology*. 2018;14(5):301–316. DOI: <http://doi.org/10.1038/nrendo.2018.18>
35. Chen X., Liu L., Yao P., Yu D., Hao L., Sun X. Effect of excessive iodine on immune function of lymphocytes and intervention with selenium. *Journal of Huazhong University of Science and Technology-Medical Sciences*. 2007;27(4):422–425. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11596-007-0418-1>
36. Елисеева Т. Селен (Se) – значение для организма и здоровья + 30 лучших источников. *Журнал здорового питания и диетологии*. 2022;(19):55–64. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59159965> EDN: QSEPAQ
37. Schöne F., Rajendram R. Chapter 16 – Iodine in farm animals. In: *Comprehensive handbook of iodine: nutritional, biochemical pathological and therapeutic aspects*. Academic: Burlington. Academic Press, 2009. pp. 151–170. DOI: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-374135-6.00016-9>
38. Iannaccone M., Ianni A., Elgendy R., Martino C., Giantin M., Cerretani L. et al. Iodine supplemented diet positively affect immune response and dairy product quality in Fresian cow. *Animals*. 2019;9(11):866. DOI: <http://doi.org/10.3390/ani9110866>
39. Ермаков В. В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы. *Геохимия*. 2015;(3):203–221. DOI: <http://doi.org/10.7868/S0016752515030061> EDN: TJFGKZ
40. Побилат А. Е., Волошин Е. И. Мониторинг йода в системе «почва – растение» (обзор). *Вестник КрасГАУ*. 2020;(10(163)):101–108. DOI: <http://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-101-108> EDN: PCASUF
41. Пилов А. Х., Тарчоков Т. Т., Пойденко А. А., Миллер Т. В. Трансформация клеточного состава щитовидной железы коров в условиях йододефицита. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2023;17(1):52–60. DOI: http://doi.org/10.22450/19996837_2023_1_52 EDN: NCLFER
42. Петров А. К., Гнездилова Л. А. Действие йодсодержащих препаратов на биохимические показатели крови и откормочные качества молодняка овец. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2015;(1):48–54. DOI: <http://doi.org/10.22363/2312-797X-2015-1-48-54> EDN: TIVVAZ
43. Rosenfeld L. Discovery and Early Uses of Iodine. *Journal of Chemical Education*. 2000;77(8):984. DOI: <http://doi.org/10.1021/ed077p984>
44. Condo D., Huyhn D., Anderson A. J., Skeaff S., Ryan P., Makrides M. et al. Iodine status of pregnant women in South Australia after mandatory iodine fortification of bread and the recommendation for iodine supplementation. *Maternal & Child Nutrition*. 2017;13(4):e12410. DOI: <http://doi.org/10.1111/mcn.12410>

45. Синдирева А. В., Голубкина Н. А., Степанова О. В., Кекина Е. Г. Влияние совместного действия селена и йода на химический состав, урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области. *Успехи современной науки*. 2017;2(10):51–57.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29905644> EDN: ZELBET
46. Дельцов А. А., Белова К. О. Анализ рынка йодсодержащих кормовых добавок для животных. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2023;(1):84–92. DOI: <http://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202301008> EDN: MOBWUQ
47. Völzke H. The EU thyroid Consortium: The Krakow Declaration on Iodine: Tasks and responsibilities for prevention programs targeting iodine deficiency disorders. *European Thyroid Journal*. 2018;7(4):201–204.
DOI: <http://doi.org/10.1159/000490143>
48. Turrentine J. W. Use of seaweed in the prevention and treatment of goiter. *Endocrinology*. 1924;8(3):409–419.
DOI: <http://doi.org/10.1210/endo-8-3-409>
49. Blikra M. J., Aakre I., Rigutto-Farebrother J. Consequences of acute and long-term excessive iodine intake: A literature review focusing on seaweed as a potential dietary iodine source. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024;23(6):e70037. DOI: <http://doi.org/10.1111/1541-4337.70037>
50. Zava Th. T., Zava D. T. Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis. *Thyroid Research*. 2011;4:14. DOI: <http://doi.org/10.1186/1756-6614-4-14>
51. Белоусов Н. М. Эффективность использования Гумитона, обогащенного йодом, в рационах высокопродуктивных коров. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(5):61–63.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17734111> EDN: OYBYXX
52. Строев Ю. И., Чурилов Л. П. Самый тяжелый элемент жизни (к 200-летию открытия йода). *Биосфера*. 2012;4(3):313–342. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17954326> EDN: PCXGNZ
53. Nishiyama S., Makeda T., Okada T., Nakamura K., Kotani T., Hishinuma A. Transient hypothyroidism or persistent hyperthyrotropinemia in neonates born to mothers with excessive iodine intake. *Thyroid*. 2004;14(12):1077–1083.
DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2004.14.1077>
54. Teas J., Pino S., Critchley A. T., Braverman L. E. Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. *Thyroid*. 2004;14(10):836. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2004.14.836>
55. Беспалов В. Г., Туманян И. А. Дефицит йода в питании как мультидисциплинарная проблема. *Лечащий врач*. 2019;(3):8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37085242> EDN: ERXREW
56. Nitschke U., Stengel D. B. Quantification of iodine loss in edible Irish seaweeds during processing. *Journal of Applied Phycology*. 2016;28:3527–3533. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10811-016-0868-6>
57. Mantri V. A., Gajaria T. K., Rathod S. G., Prasad K. A Mini Review on Iodinophyte Seaweed Resources of India. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 2024;14:1–12.
DOI: <http://doi.org/10.1007/s40011-024-01571-x>
58. El Zokm G. M., Ismail M. M., El-Said G. F. Halogen content relative to the chemical and biochemical composition of fifteen marine macro and micro algae: nutritional value, energy supply, antioxidant potency, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28:14893–14908.
DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-020-11596-0>
59. Битютская О. Е., Булли Л. И., Донченко Л. В. Исследование биологии и пищевой ценности *Ulva rigida* C. Ag., как перспективного объекта марикультуры. *Рыбное хозяйство*. 2020;(4):94–100.
DOI: <http://doi.org/10.37663/0131-6184-2020-4-94-100> EDN: SFXWMA
60. Shadrin N. V., Anufrieva E. V. Climate change impact on the marine lakes and their Crustaceans: The case of marine hypersaline Lake Bakalskoye (Ukraine). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2013;13(4):603–611.
DOI: http://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_4_05
61. Shadrin N., Latushkin A., Yakovenko V., Prazukin A., Anufrieva E. Daily and other short-term changes in the ecosystem components of the world's largest hypersaline lagoon Bay Sivash (Crimea). *Regional Studies in Marine Science*. 2024;77:103643. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103643>
62. Prazukin A., Shadrin N., Latushkin A., Anufrieva E. Mats of green filamentous alga *Cladophora* in the hypersaline Bay Sivash: distribution, structure, environment-forming role and resource potential. *Regional Studies in Marine Science*. 2025;82:104031. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104031>
63. Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Shadrin N. V. Biomass of *Cladophora* (Chlorophyta, Cladophorales) is a promising resource for agriculture with high benefits for economics and the environment. *Aquaculture International*. 2024;32:3637–3673. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10499-023-01342-x>
64. Marin O. A., Filimon A. *Ulva* species from the Romanian Black Sea Coast—between green blooms and nature's contribution to people. *Cercetări Marine-Recherches Marines*. 2024;54(1):90–103.
DOI: <http://doi.org/10.55268/CM.2024.54.90>
65. Шадрин Н. В., Празукин А. В., Ануфриева Е. В., Фирсов Ю. К. Способ получения кормовой добавки из водорослей: пат. №2823595 Российская Федерация. № 2023125014; заявл. 28.09.2023, опубл. 24.07.2024. Бюл. № 21. 7 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
66. Munir M., Qureshi R., Bibi M., Khan A. M. Pharmaceutical aptitude of *Cladophora*: a comprehensive review. *Algal Research*. 2019;39:101476. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101476>
67. Шаманская А. А., Лях В. А., Ситун Н. В., Федянина Л. Н., Смертина Е. С. К вопросу о безопасности новых ингредиентов на основе морских зеленых водорослей для мясной промышленности. *Journal of Agriculture and Environment*. 2020;(3(31)):3. DOI: <http://doi.org/10.23649/jae.2023.31.3.003> EDN: TTJUPG

68. Паштецкая А. В., Марынич А. П., Остапчук П. С., Емельянов С. А. Мясная продуктивность молодняка овец и динамика структурных элементов крови на фоне применения липосомальной формы антиоксидантов. АПК России. 2020;27(3):550–556. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tmhaac> EDN: ТМНААС
69. Паштецкий В. С., Зубоченко Д. В., Остапчук П. С., Зубоченко А. А. Особенности накопления йода в мышцах кроликов на фоне использования антиоксидантов в липосомальной форме. Аграрный вестник Урала. 2020;(5(196)):51–58. DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-196-5-51-58> EDN: SGGIWX
70. Ильязов Р. Г., Остапчук П. С., Куевда Т. А. Влияние липосомальных форм антиоксидантов (бета-каротина, омега-3 и органического йода) на рост и развитие молодняка птицы. Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: мат.-лы IV междунар. научн.-практ. конф. Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2019. С. 340–341. DOI: <http://doi.org/10.33952/09.09.2019.172> EDN: POWXSK
71. Остапчук П. С., Шадрин Н. В., Празукин А. В., Ануфриева Е. В., Куевда Т. А., Фирсов Ю. К. и др. Влияние добавок зеленой нитчатой водоросли *Cladophora* в рацион молодняка кроликов на их рост и развитие. Аграрный вестник Урала. 2025;25(1):61–73. DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-61-73> EDN: OPBMXH
72. Шадрин Н. В., Остапчук П. С., Куевда Т. А., Празукин А. В., Фирсов Ю. К., Гассиев Д. Д., Зубоченко Д. В., Ануфриева Е. В. Влияние добавок нитчатой зеленой водоросли *Cladophora* в рацион кроликов на показатели их крови. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1137–1146. DOI: <http://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1137-1146> EDN: PMOYCP
73. Gorstein J. L., Bagriansky J., Pearce E. N., Kupka R., Zimmermann M. B. Estimating the health and economic benefits of universal salt iodization programs to correct iodine deficiency disorders. Thyroid. 2020;30(12):1802–1809. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2019.0719>
74. Schaffner M., Rochau U., Mühlberger N., Conrads-Frank A., Rushaj V. Q., Sroczynski G. et al. The economic impact of prevention, monitoring and treatment strategies for iodine deficiency disorders in Germany. Endocrine Connections. 2021;10(1):1–12. DOI: <http://doi.org/10.1530/EC-20-0384>
75. Трошина Е. А. Устранение дефицита йода – забота о здоровье нации. Экскурс в историю, научные аспекты и современное состояние правового регулирования проблемы в России. Проблемы эндокринологии. 2022;68(4):4–12. DOI: <http://doi.org/10.14341/probl13154> EDN: GAKKBM

References

1. Passarelli S., Free C. M., Shepon A., Beal T., Batis C., Golden C. D. Global estimation of dietary micronutrient inadequacies: a modeling analysis. The Lancet Global Health. 2024;12(10):e1590–e1599. DOI: [http://doi.org/10.1016/S2214-109X\(24\)00276-6](http://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00276-6)
2. Skalnaya M. G. Iodine: the biological role and significance for medical practice. *Mikroelementy v meditsine* = Trace Elements in Medicine (Moscow). 2018;19(2):3–11. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2018-19-2-3-11>
3. Zimmermann M. B. Chapter 25 - Iodine and the iodine deficiency disorders. In: Present Knowledge in Nutrition (Eleventh Edition). Vol. 1: Basic Nutrition and Metabolism. Academic Press: London. 2020. P. 429–441. DOI: <http://doi.org/10.1016/b978-0-323-66162-1.00025-1>
4. Troshina E. A., Makolina N. P., Kolpakova E. A., Nikiforovich P. A., Isaeva M. P., Abdulkhabirova F. M., Platonova N. M. Strukturnye i morfologicheskie kharakteristiki uzlovogo zoba v usloviyakh khronicheskogo defitsita yoda. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya* = Clinical and experimental thyroidology. 2023;19(1):20–28. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.14341/ket12748>
5. Luft M. J., Aldrich S. L., Poweleit E., Prows C. A., Martin L. J., DelBello M. P. et al. Thyroid function screening in children and adolescents with mood and anxiety disorders. The Journal of Clinical Psychiatry. 2019;80(5):18m12626. DOI: <http://doi.org/10.4088/JCP.18m12626>
6. Hirtz R., Föcker M., Libuda L., Antel J., Öztürk D., Kiewert C. et al. Increased prevalence of subclinical hypothyroidism and thyroid autoimmunity in depressed adolescents: results from a clinical cross-sectional study in comparison to the general pediatric population. The Journal of Clinical Psychiatry. 2021;82(2): 20m13511. DOI: <http://doi.org/10.4088/JCP.20m13511>
7. Damara F. A., Muchamad G. R., Ikhsani R., Syafiyah A. H., Bashari M. H. Thyroid disease and hypothyroidism are associated with poor COVID-19 outcomes: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 2021;15(6):102312. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.102312>
8. Xiong X., Wong C. K., Au I. C., Lai F. T., Li X., Wan E. Y. et al. Safety of inactivated and mRNA COVID-19 vaccination among patients treated for hypothyroidism: a population-based cohort study. Thyroid. 2022;32(5):505–514. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2021.068>
9. Biban B. G., Lichiardopol C. Iodine deficiency, still a global problem? Current Health Sciences Journal. 2017;43(2):103–111. DOI: <http://doi.org/10.12865/CHSJ.43.02.01>
10. Sun D., Codling K., Chang S., Zhang S., Shen H., Su X. et al. Eliminating iodine deficiency in China: achievements, challenges and global implications. Nutrients. 2017;9(4):361. DOI: <http://doi.org/10.3390/nu9040361>
11. Yao N., Zhou C., Xie J., Li X., Zhou Q., Chen J., Zhou S. Assessment of the iodine nutritional status among Chinese school-aged children. Endocrine Connections. 2020;9(5):379–386. DOI: <http://doi.org/10.1530/EC-19-0568>
12. Farebrother J., Dalrymple K. V., White S. L., Gill C., Brockbank A. et al. Iodine status of pregnant women with obesity from inner city populations in the United Kingdom. European Journal of Clinical Nutrition. 2021;75:801–808. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41430-020-00796-z>

13. Taylor S. R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1964;28(8):1273–1285. DOI: [http://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90129-2](http://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90129-2)
14. Fuge R., Johnson C. C. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry*. 2015;63:282–302. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.013>
15. Suess E., Aemisegger F., Sonke J. E., Sprenger M., Wernli H., Winkel L. H. Marine versus continental sources of iodine and selenium in rainfall at two European high-altitude locations. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(4):1905–1917. DOI: <http://doi.org/10.1021/acs.est.8b05533>
16. Wang W., Wang X., Zhang B., Chi Q., Liu Q., Zhou J. et al. Spatial distribution of iodine in the pedosphere of China and its influencing factors. *Journal of Geochemical Exploration*. 2023;248:107191. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107191>
17. Abdel-Moati M. A. Iodine speciation in the Nile River estuary. *Marine Chemistry*. 1999;65(3–4):211–225. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0304-4203\(99\)00003-1](http://doi.org/10.1016/S0304-4203(99)00003-1)
18. Truesdale V. W. The biogeochemical effect of seaweeds upon close-to natural concentrations of dissolved iodate and iodide in seawater: preliminary study with *Laminaria digitata* and *Fucus serratus*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2008;78(1):155–165. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.11.022>
19. Smyth P. P. Iodine, seaweed, and the thyroid. *European Thyroid Journal*. 2021;10(2):101–108. DOI: <http://doi.org/10.1159/000512971>
20. Carpenter L. J., Chance R. J., Sherwen T., Adams T. J., Ball S. M., Evans M. J. et al. Marine iodine emissions in a changing world. *Proceedings of the Royal Society A*. 2021;477(2247):20200824. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspa.2020.0824>
21. Moriyasu R., Bolster K. M., Hardisty D. S., Kadko D. C., Stephens M. P., Moffett J. W. Meridional survey of the central pacific reveals iodide accumulation in equatorial surface waters and benthic sources in the abyssal plain. *Global Biogeochemical Cycles*. 2023;37(3):e2021GB007300. DOI: <http://doi.org/10.1029/2021GB007300>
22. Gilfedder B. S., Lai S. C., Petri M., Biester H., Hoffmann T. Iodine speciation in rain, snow and aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2008;8(20):6069–6084. DOI: <http://doi.org/10.5194/acp-8-6069-2008>
23. Van Bergeijk S. A., Hernández L., Zubía E., Cañavate J. P. Iodine balance, growth and biochemical composition of three marine microalgae cultured under various inorganic iodine concentrations. *Marine Biology*. 2016;163:107. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00227-016-2884-0>
24. Ermakov V. V., Kovalsky Yu. V. Living matter of the biosphere: mass and chemical elemental composition. *Geokhimiya*. 2018;(10):931–944. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.1134/S0016752518100060>
25. Popova A. Yu., Tutel'yan V. A., Nikityuk D. B. On the new (2021) norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Voprosy pitaniya* = Problems of Nutrition. 2021;90(4):6–19. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
26. Alferova V. I., Mustafina S. V., Rymar O. D. Iodine status of the population in Russia and the world: what do we have for 2019? *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya* = Clinical and experimental thyroidology. 2019;15(2):73–82. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14341/ket10353>
27. Karbownik-Lewińska M., Stępnik J., Iwan P., Lewiński A. Iodine as a potential endocrine disruptor – a role of oxidative stress. *Endocrine*. 2022;78(2):219–240. DOI: <http://doi.org/10.1007/s12020-022-03107-7>
28. Berezkin V. Yu., Glebov V. V., Kayukova E. P. The factors of the low iodine concentration in soil cover and drinking waters of the second ridge of the Mountain Crimea. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* = RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2023;31(4):521–532. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-521-532>
29. Shadrin N., Mirzoeva N., Proskurnin V., Anufrieva E. The vertical distribution of 27 elements in bottom sediments reflects the modern history of the hypersaline lagoon. *Regional Studies in Marine Science*. 2023;67:103183. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103183>
30. Bezrukov O. F., Zima D. V., Mikhaylichenko V. Yu., Khabarov O. R., Samarin S. A. Evolution of views on the pathogenesis and surgical treatment of thyroid pathology in the Crimea. *Tavricheskiy mediko-biologicheskiy vestnik*. 2022;25(3):163–167. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.29039/2070-8092-2022-25-3-163-167>
31. Dijk-Brouwer D. J., Muskiet F. A., Verheesen R. H., Schaafsma G., Schaafsma A., Geurts J. M. Thyroidal and extrathyroidal requirements for iodine and selenium: A combined evolutionary and (Patho)Physiological approach. *Nutrients*. 2022;14(19):3886. DOI: <http://doi.org/10.3390/nu14193886>
32. Troshina E. A., Senyushkina E. S., Terekhova M. A. The role of selenium in the pathogenesis of thyroid disease. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya* = Clinical and experimental thyroidology. 2018;14(4):192–205. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14341/ket10157>
33. Evstafeva E. V., Golubkina N. A., Boyarinceva Yu. A., Bogdanova A. M., Tymchenko S. L. Selenium status of urban residents on the territory of the Crimean peninsula. *Gigiena i sanitariya* = Hygiene and Sanitation. 2021;100(2):147–153. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-147-153>
34. Taylor P. N., Albrecht D., Scholz A., Gutierrez-Buey G., Lazarus J. H., Dayan C. M., Okosieme O. E. Global epidemiology of hyperthyroidism and hypothyroidism. *Nature Reviews Endocrinology*. 2018;14(5):301–316. DOI: <http://doi.org/10.1038/nrendo.2018.18>
35. Chen X., Liu L., Yao P., Yu D., Hao L., Sun X. Effect of excessive iodine on immune function of lymphocytes and intervention with selenium. *Journal of Huazhong University of Science and Technology-Medical Sciences*. 2007;27(4):422–425. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11596-007-0418-1>

36. Eliseeva T. Selenium (Se) – body and health importance + top 30 sources. *Zhurnal zdorovogo pitaniya i dietologii*. 2022;(19):55–64. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59159965>
37. Schöne F., Rajendram R. Chapter 16 – Iodine in farm animals. In: Comprehensive handbook of iodine: nutritional, biochemical pathological and therapeutic aspects. Academic: Burlington. Academic Press, 2009. pp. 151–170. DOI: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-374135-6.00016-9>
38. Iannaccone M., Ianni A., Elgendy R., Martino C., Giantin M., Cerretani L. et al. Iodine supplemented diet positively affect immune response and dairy product quality in Fresian cow. *Animals*. 2019;9(11):866. DOI: <http://doi.org/10.3390/ani9110866>
39. Ermakov V. V. Geochemical ecology and biogeochemical criteria for estimating the ecologic state of biospheric taxons. *Geokhimiya*. 2015;(3):203–221. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.7868/S0016752515030061>
40. Pobilat A. E., Voloshin E. I. Monitoring of iodine in the soil - plant system (review). *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2020;(10(163)):101–108. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-101-108>
41. Pilov A. Kh., Tarchokov T. T., Poydenko A. A., Miller T. V. Transformation of the cellular composition of the thyroid gland of cows under conditions of iodine deficiency. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik = Far Eastern Agrarian Herald*. 2023;17(1):52–60. (In Russ.). DOI: http://doi.org/10.22450/19996837_2023_1_52
42. Petrov A. K., Gnezdilova L. A. Action iodine preparations on blood biochemical parameters and feeding qualities of young sheep. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2015;(1):48–54. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.22363/2312-797X-2015-1-48-54>
43. Rosenfeld L. Discovery and Early Uses of Iodine. *Journal of Chemical Education*. 2000;77(8):984. DOI: <http://doi.org/10.1021/ed077p984>
44. Condo D., Huyhn D., Anderson A. J., Skeaff S., Ryan P., Makrides M. et al. Iodine status of pregnant women in South Australia after mandatory iodine fortification of bread and the recommendation for iodine supplementation. *Maternal & Child Nutrition*. 2017;13(4):e12410. DOI: <http://doi.org/10.1111/mcn.12410>
45. Sindireva A. V., Golubkina N. A., Stepanova O. V., Kekina E. G. The effect of the joint action of selenium and iodine for chemical composition, yield and quality of grain of spring soft wheat in conditions of southern forest-steppe of Omsk region. *Uspekhi sovremennoy nauki*. 2017;2(10):51–57. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29905644>
46. Deltsov A. A., Belova K. O. Analysis of the market of iodine-containing feed additives for animals. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya = Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology*. 2023;(1):84–92. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202301008>
47. Völzke H. The EU thyroid Consortium: The Krakow Declaration on Iodine: Tasks and responsibilities for prevention programs targeting iodine deficiency disorders. *European Thyroid Journal*. 2018;7(4):201–204. DOI: <http://doi.org/10.1159/000490143>
48. Turrentine J. W. Use of seaweed in the prevention and treatment of goiter. *Endocrinology*. 1924;8(3):409–419. DOI: <http://doi.org/10.1210/endo-8-3-409>
49. Blikra M. J., Aakre I., Rigutto-Farebrother J. Consequences of acute and long-term excessive iodine intake: A literature review focusing on seaweed as a potential dietary iodine source. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024;23(6):e70037. DOI: <http://doi.org/10.1111/1541-4337.70037>
50. Zava Th. T., Zava D. T. Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis. *Thyroid Research*. 2011;4:14. DOI: <http://doi.org/10.1186/1756-6614-4-14>
51. Belousov N. M. Efficiency of Gumiton enriched with iodine using in diets of high-producing cows. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2012;(5):61–63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17734111>
52. Stroeve Yu. I., Churilov L. P. The heaviest bio-element (on the occasion of 200 years since the discovery of iodine). *Biosfera*. 2012;4(3):313–342. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17954326>
53. Nishiyama S., Mikeda T., Okada T., Nakamura K., Kotani T., Hishinuma A. Transient hypothyroidism or persistent hyperthyrotropinemia in neonates born to mothers with excessive iodine intake. *Thyroid*. 2004;14(12):1077–1083. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2004.14.1077>
54. Teas J., Pino S., Critchley A. T., Braverman L. E. Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. *Thyroid*. 2004;14(10):836. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2004.14.836>
55. Bepalov V. G., Tumanyan I. A. Defitsit yoda v pitanii kak mul'tidistsiplinarnaya problema. *Lechashchiy vrach = Lechaschi Vrach Journal*. 2019;(3):8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37085242>
56. Nitschke U., Stengel D. B. Quantification of iodine loss in edible Irish seaweeds during processing. *Journal of Applied Phycology*. 2016;28:3527–3533. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10811-016-0868-6>
57. Mantri V. A., Gajaria T. K., Rathod S. G., Prasad K. A Mini Review on Iodinophyte Seaweed Resources of India. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 2024;14:1–12. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40011-024-01571-x>
58. El Zokm G. M., Ismail M. M., El-Said G. F. Halogen content relative to the chemical and biochemical composition of fifteen marine macro and micro algae: nutritional value, energy supply, antioxidant potency, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28:14893–14908. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-020-11596-0>

59. Bityutskaya O. E., Bulli L. I., Donchenko L. V. Study of biology and nutritional value of *Ulva rigida* C. Ag. as a promising target species for marine aquaculture. *Rybnoe khozyaystvo* = Fisheries. 2020;(4):94–100. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.37663/0131-6184-2020-4-94-100>
60. Shadrin N. V., Anufrieva E. V. Climate change impact on the marine lakes and their Crustaceans: The case of marine hypersaline Lake Bakalskoye (Ukraine). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2013;13(4):603–611. DOI: http://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_4_05
61. Shadrin N., Latushkin A., Yakovenko V., Prazukin A., Anufrieva E. Daily and other short-term changes in the ecosystem components of the world's largest hypersaline lagoon Bay Sivash (Crimea). *Regional Studies in Marine Science*. 2024;77:103643. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103643>
62. Prazukin A., Shadrin N., Latushkin A., Anufrieva E. Mats of green filamentous alga *Cladophora* in the hypersaline Bay Sivash: distribution, structure, environment-forming role and resource potential. *Regional Studies in Marine Science*. 2025;82:104031. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104031>
63. Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Shadrin N. V. Biomass of *Cladophora* (Chlorophyta, Cladophorales) is a promising resource for agriculture with high benefits for economics and the environment. *Aquaculture International*. 2024;32:3637–3673. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10499-023-01342-x>
64. Marin O. A., Filimon A. *Ulva* species from the Romanian Black Sea Coast—between green blooms and nature's contribution to people. *Cercetări Marine-Recherches Marines*. 2024;54(1):90–103. DOI: <http://doi.org/10.55268/CM.2024.54.90>
65. Shadrin N. V., Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Firsov Yu. K. The method of obtaining feed additives from algae: Patnt RF, no. 2823595, 2024. URL: https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet
66. Munir M., Qureshi R., Bibi M., Khan A. M. Pharmaceutical aptitude of *Cladophora*: a comprehensive review. *Algal Research*. 2019;39:101476. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101476>
67. Shamanskaya A. A., Lyakh V. A., Situn N. V., Fedyanina L. N., Smertina E. S. On the issue of the safety of new ingredients based on marine sea algae for the meat industry. *Journal of Agriculture and Environment*. 2020;(3(31)):3. DOI: <http://doi.org/10.23649/jae.2023.31.3.003>
68. Pashtetskaya A. V., Marynich A. P., Ostapchuk P. S., Emel'yanov S. A. Meat productivity of young sheep and dynamics of structural elements of blood on the background of liposomal form of antioxidants. *APK Rossii* = Agro-Industrial Complex of Russia. 2020;27(3):550–556. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tmhaac>
69. Pashtetskiy V. S., Zubochenko D. V., Ostapchuk P. S., Zubochenko A. A. Features of the accumulation of iodine in the muscles of rabbits against the background of the use of antioxidants in liposomal form. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;(5(196)):51–58. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-196-5-51-58>
70. Ilyazov R. G., Ostapchuk P. S., Kuevda T. A. Effect of liposomal antioxidants (beta-carotene, omega-3, and organic iodine) on the growth and development of young birds. The current state, problems and prospects of agricultural science development: Proceedings of the IV International scientific and practical conference. Simferopol': *OOO «Izdatel'stvo Tipografiya «Arial»*, 2019. pp. 340–341. DOI: <http://doi.org/10.33952/09.09.2019.172>
71. Ostapchuk P. S., Shadrin N. V., Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Kuevda T. A., Firsov Yu. K. et al. Effects of the *Cladophora* green filamentous algae supplements in the young rabbits' diet on their growth and development. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2025;25(1):61–73. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-61-73>
72. Shadrin N. V., Ostapchuk P. S., Kuevda T. A., Prazukin A. V., Firsov Yu. K., Gassiev D. D., Zubochenko D. V., Anufrieva E. V. The effect of adding filamentous green algae *Cladophora* to the diet of rabbits on their blood parameters. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1137–1146. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1137-1146>
73. Gorstein J. L., Bagriansky J., Pearce E. N., Kupka R., Zimmermann M. B. Estimating the health and economic benefits of universal salt iodization programs to correct iodine deficiency disorders. *Thyroid*. 2020;30(12):1802–1809. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2019.0719>
74. Schaffner M., Rochau U., Mühlberger N., Conrads-Frank A., Rushaj V. Q., Sroczynski G. et al. The economic impact of prevention, monitoring and treatment strategies for iodine deficiency disorders in Germany. *Endocrine Connections*. 2021;10(1):1–12. DOI: <http://doi.org/10.1530/EC-20-0384>
75. Troshina E. A. Elimination of iodine deficiency is a concern for the health of the nation. An excursion into the history, scientific aspects and the current state of the legal regulation of the problem in Russia. *Problemy endokrinologii* = Problems of Endocrinology. 2022;68(4):4–12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14341/probl13154>

Сведения об авторах

Шадрин Николай Васильевич, кандидат биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории экстремальных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2580-3710>

Ануфриева Елена Валерьевна, доктор биол. наук, руководитель лаборатории экстремальных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6237-7941>

✉ **Остапчук Павел Сергеевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отделения полевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site; ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>, e-mail: ostapchuk_p@niishk.site

Празукин Александр Васильевич, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экстремальных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9766-6041>

Зубоченко Денис Викторович, кандидат биол. наук, заместитель директора по производству и внедрению инновационных разработок, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>

Куведда Татьяна Алексеевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отделения полевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site; ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-8605>

Information about the authors

Nickolai V. Shadrin, PhD in Biological Science, associate professor, leading researcher, the Laboratory of Extreme Ecosystems, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2580-3710>

Elena V. Anufriieva, DSc in Biological Science, Head of the Laboratory of Extreme Ecosystems, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6237-7941>

✉ **Pavel S. Ostapchuk**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Field Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site; A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>, e-mail: ostapchuk_p@niishk.site

Alexander V. Prazukin, DSc in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of Extreme Ecosystems, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9766-6041>

Denis V. Zubochenko, PhD in Biological Science, Deputy Director for Production and Implementation of Innovative Developments, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>

Tatyana A. Kuevda, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Field Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011; e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-8605>

✉ – Для контактов / Corresponding author