

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КУЯЛЬНИЦКОГО ЛИМАНА И ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНОГО ПОПОЛНЕНИЯ ВОДОЕМА МОРСКИМИ И ПРЕСНЫМИ ВОДАМИ

На основе собственных натурных измерений и экспериментальных данных проведен анализ изменчивости гидролого-гидрохимического режима Куяльницкого лимана за последние 15 лет. Сделан вывод, что на современном этапе невозможна долговременная стабилизация водно-солевого и гидрохимического режима Куяльницкого лимана при помощи природных факторов. Искусственное пополнение лимана водой из внешних источников не приведет к радикальным изменениям его бальнеологических свойств и рекреационного потенциала.

Ключевые слова: гидролого-гидрохимический режим, рапа, пелоиды, прогноз, море, Куяльницкий лиман.

Вступление. Гиперсоленые или гипергалинные водоемы существуют на всех континентах. Вода или рапа этих водоемов – источник полезных ископаемых, различных видов солей и минералов, а донные отложения – лечебные грязи (пелоиды). Кроме того гиперсоленые континентальные водоемы являются важным звеном круговорота углерода на Земле. К водоемам с экстремальной соленостью относятся: водоем Дон Жуан (Don Juan Pond) в Антарктиде (402 ‰), озеро Ассаль в Джибути (350 ‰ – на поверхности и 400 ‰ – на глубине 20 м), Мертвое море (364 ‰ – в ноябре 2012 г., 358 ‰ – в апреле 2013 г.), Солонец Тузлы в Северо-западном Причерноморье (359 ‰ – в августе 2007 г.), Куяльницкий лиман (309 ‰ – в ноябрь 2012 г., 248‰ – в апреле 2013 г.). Погодные и климатические флуктуации являются важными факторами, определяющими изменчивость солености и смену гидролого-гидрохимического и гидробиологического режимов этих водоемов.

Куяльницкий лиман – закрытый водоем Северо-западного Причерноморья, приток в который поверхностных вод постоянно сокращается. Многолетняя изменчивость гидрологического и гидрохимического режимов, качество лечебных грязей лимана и вопросы пополнения водоема морскими и пресными водами освещены в ряде работ [2, 4, 5, 7, 8, 10–12]. Анализ исследований показывает, что за менее чем вековой период произошло изменение морфометрических характеристик и гидролого-гидрохимического режима лимана, и он приблизился к водоемам с экстремально высокой соленостью. Гипервысокая соленость рапы в лимане и обмеление ослабили развитие внутриводоемных гидробиологических процессов и продуцирование нового органического вещества, из которого формируются лечебные грязи лимана. Возможная потеря Куяльницкого лимана с его уникальными по бальнеологическим свойствам и грязями, которые являются мировым эталоном по физико-химическому составу [2], остро ставит проблему восстановления гидролого-гидрохимического режима.

До настоящего времени вопросы изменчивости климатических характеристик лимана за испарительный период и их влияние на соленость рапы, оценка величины стока водотоков на устьевых участках были освещены недостаточно подробно. Не проводились также и эксперименты по исследованию гидрохимических характеристик рапы и пелоидов лимана после разбавления их морскими и пресными водами. Эти вопросы стали особенно актуальными, т.к. в настоящее время предполагается начать пополнение лимана морской водой. Объемы поступления морской воды в лиман и технические детали этого процесса находятся в стадии разработки и обсуждения.

Возможен вариант пополнения лимана и пресными водами – очищенными водами станции биологической очистки (СБО) «Северная» г. Одессы, Хаджибейского лимана и р. Днестр.

Цель настоящего исследования – на основе литературных данных и собственных исследований дать прогнозную оценку изменчивости составляющих гидролого-гидрохимического режима Куяльницкого лимана после пополнения его морскими и пресными водами.

Объект исследования. Куяльницкий лиман и водотоки, впадающие в него.

Методы исследований. Измерения расходов воды в водотоках и гидрологических характеристик в лимане проводили инструментальными методами по стандартным методикам, а определение гидрохимических параметров – стандартными гидрохимическими методами в аккредитованной в системе Госстандарта Украины лаборатории. Водосборные площади лимана и основных водотоков строились на основе данных Shuttle radar topographic mission (SRTM) в программе Global Mapper 13.00.

Результаты исследований и их анализ. В работе использованы собственные данные гидрологических наблюдения за 1997–2013 гг. и гидрохимических определений за 2000–2013 гг.

Гидролого-гидрохимический режим Куяльницкого лимана определяется природными и антропогенными факторами: поступлением стока р. Большой Куяльник, пресных и солоноватых вод из водоемов и водотоков пересыпи лимана и прилегающих территорий, поступлением атмосферных осадков и испарением, фильтрацией морской воды через пересыпь, склоновым и подземным стоком, развитием внутриводоемных гидробиологических процессов. Нарушение вклада каждой из составляющих приходной части водного баланса лимана, под воздействием антропогенных и климатических факторов, привело к изменению его гидролого-гидрохимического режима и морфометрических характеристик [12].

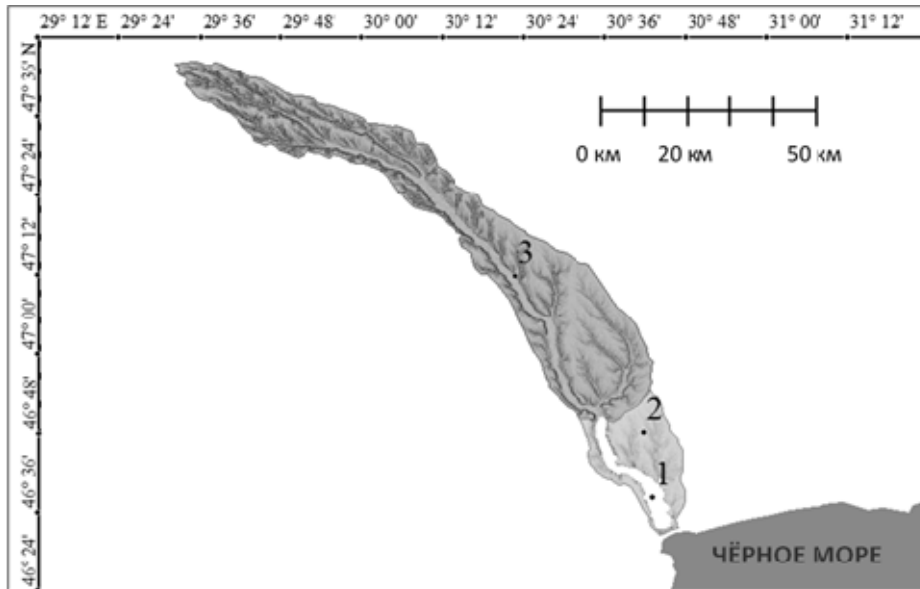
В настоящее время поступление воды в лиман осуществляется за счет выпадения осадков на водное зеркало, склонового, руслового и подземного стоков, фильтрации воды через пересыпь, причем два последних компонента приходной части не достигают 1% от суммарного поступления [12].

Русловой сток в Куяльницкий лиман осуществляется по нескольким постоянным водотокам, часть из которых может пересыхать в летний период, а также по временным водотокам из развитой овражно-балочной сети (рис. 1).

Наиболее значимым из постоянных водотоков в бассейне лимана ранее была р. Большой Куяльник, но в конце прошлого века в результате хозяйственной деятельности произошло значительное сокращение ее стока. На всем протяжении русла реки устроено большое количество прудов, которые перехватывают речной сток, а строительство газопровода на эстакаде в 3 км южнее с. Севериновки, выполненное с укладкой бетонных плит на дно лимана для его технологического обслуживания, создало дополнительное препятствие для добегаания речной воды в лиман. В среднем по нашим данным за 2001–2006 гг. годовой объем стока р. Большой Куяльник составлял около 5,0 млн. м³/год, минерализация воды, изменяясь от 0,8 до 3,4 г/дм³, в среднем составляла 1,9 г/дм³. Средний объем стока всех остальных водотоков в этот период составлял около 2 млн. м³/год, а минерализация от 1 до 5 г/дм³. При суммарном объеме руслового стока 7 млн. м³/год, в лиман ежегодно поступало около 13 тыс. тонн минеральных солей.

С 2007 г. произошло общее снижение объемов руслового стока и перераспределение по водотокам. Например, в 2011–2012 гг. по нашим данным объем руслового стока составлял около 2 млн. м³/год, причем в 2011 г. объем стока

р. Большой Куяльник не превышал 0,7 млн. м³/год, а остальных водотоков 1,3 млн. м³/год. В 2012 г. сток р. Большой Куяльник был 1,1 млн. м³/год и 0,9 млн. м³/год пришлось на остальные водотоки, которые в основном впадают в южную часть лимана. В 2011–2012 гг. ежегодно с русловым стоком в лиман поступало около 4,5 тыс. т минеральных солей.



1 – акватория лимана; 2 – водосборная площадь лимана; 3 – водосборная площадь р. Большой Куяльник

Рис. 1 – Карта водосборных площадей бассейна Куяльницкого лимана

В 2011–2012 гг. максимальная часть руслового стока поступала в лиман в первой половине года, а к июлю–августу небольшие объемы воды поступают только в южную часть лимана. В конце февраля 2013 г., после того как за зимние месяцы 2012–2013 гг. выпало 181 мм осадков, что в 1,7 раза превысило норму, объем стока из всех водотоков в лиман по результатам непосредственных измерений в устьевой части водотоков не превышал 0,062 м³/с (5,4 тыс. м³/сут). При этом сток р. Большой Куяльник составил только 0,001 м³/с (86 м³/сут), т.е. 1,6 % от общего объема стока. Измерения расходов воды проводили в створах, расположенных на устьевых участках водотоков.

Необходимо отметить, что и в прошлом русловой сток в лиман никогда не был стабильным. За период 1931–1950 гг., т.е., когда антропогенная нагрузка в бассейне р. Большой Куяльник была значительно меньше, чем настоящее время, в среднем около 70 % дней в году русло реки было пересохшим. Например, в периоды с 16.05.1935 г. по 09.03.1937 г. (664 дня) и с 22.02.1950 г. по 20.02.1961 г. (364 дня) вода в лиман из реки не поступала [6].

В последние годы в связи с увеличением объемов испарения с водной поверхности лимана, вызванное повышением температуры воздуха (по данным Одесской ГМО среднегодовая температура воздуха в Одессе составляла: в 2010 г. – 11,8 °С, в 2011 г. – 10,9 °С, в 2012 г. – 11,9 °С, при норме 10,7 °С,) и сокращением руслового стока, объем водной массы лимана стал быстро уменьшаться, а соленость воды – быстро увеличиваться (табл. 1). Ситуация не улучшилась даже после того как в 2010–2012 гг. годовая сумма осадков в среднем превысила норму на 25 %. Так, в 2010 г. выпало максимальное количество осадков за весь период наблюдений – 741 мм

(около 170 % от нормы). По нашим данным, даже после интенсивных паводков соленость в лимане достаточно быстро увеличивается за счет выщелачивания сотен тысяч тонн соли из поверхностного слоя донных отложений и прилегающих к побережью солончаков.

Объемы склонового стока в лиман сократились в связи с интенсивным хозяйственным использованием земель на территории его водосбора. Кроме того, в периоды, когда сток из р. Большой Куяльник не достигает водной поверхности лимана, автоматически исключается объем склонового стока с территорий водосбора реки. Следует отметить, что площади водосбора р. Большой Куяльник и акватории лимана измеренные на основе данных Shuttle radar topographic mission (SRTM) в программе Global Mapper 13.00. составляют: для реки 1780 км², а для акватории лимана 450 км² (рис. 1), что несколько отличается от данных приведенных в работах [7, 8].

В условиях климатических изменений значительно увеличивается испарение с водной площади лимана. Например, испарение в 2012 г. с площади 38 км² (среднее значение водной площади лимана за испарительный период) составило 19,06 млн. м³ за испарительный период (0,5 м) или в среднем около 90 тыс. м³/сут (2,4 мм/сут). Это значение получено с использованием данных о максимальном испарении за апрель–октябрь с водной поверхности пресного водоема для Одессы – 1067 мм [6] и поправочного коэффициента 0,47 для солености 285 ‰, который был получен нами экспериментальным путем.

В 2012 г. годовая сумма осадков (по данным Одесской ГМО) составила 525 мм, т.е. на водное зеркало лимана за год выпало 19,95 млн. м³ осадков, русловой сток р. Большой Куяльник по результатам непосредственных ежемесячных измерений (1 раз в месяц) 1,1 млн. м³/год и поверхностный сток непосредственно на акваторию лимана (рассчитан по методике СНиП 2.01.14-83) 5,08 млн. м³/год (включая 0,48 млн. м³/год – измеренный сток из водоемов на пересыпи), итого 26,13 млн. м³/год.

При расчетах поверхностного стока принималось, что водосборная площадь лимана не подверглась антропогенному преобразованию.

Таблица 1 – Количество за испарительный сезон (апрель–октябрь) осадков и % от нормы, средняя температура воздуха (T_a, °C) и соленость (S, ‰) рапы в октябре в южной части Куяльницкого лимана (собственные данные)

Год	Осадки, мм	% от нормы осадков	T _a , °C	S, ‰
1997	447	169	15,7	220
1998	307	116	17,5	181
1999	177	66	17,9	175
2000	300	109	17,0	185
2001	271	101	17,6	197
2002	349	130	17,8	234
2003	300	112	16,8	115
2004	351	131	16,6	112
2005	266	99	17,6	136
2006	353	132	17,3	158
2007	213	79	18,7	234
2008	278	104	17,5	245
2009	165	62	18,2	318
2010	492	180	18,2	251
2011	251	92	17,4	319
2012	294	107	19,5	303

По нашим данным среднемесячное значение уровня воды в лимане в декабре 2012 г. было ниже, чем в январе 2012 г. на 10 см, т.е. объем воды уменьшился на 3,8 млн. м³, несмотря на то, что по расчетам объем поступившей в лиман воды превышает расходную часть (испарение) на 7,07 млн. м³. Это несоответствие можно объяснить тем, что вероятно объемы испарения с водной площади лимана могли быть выше, чем те максимальные значения для г. Одессы, полученные с использованием приборов ГГИ-3000 [6]. Не может быть сомнений, что поверхностный сток с прибрежно-склоновых территорий, подвергшихся интенсивному антропогенному преобразованию, существенно ниже, чем с природных территорий.

По нашим наблюдениям в 2012 г., сток р. Большой Куяльник, проходя через гидроствор у с. Севериновка, не достигал (кроме января) водной поверхности, инфильтруясь в высохшее дно лиман. Этому способствовало еще и то обстоятельство, что после выемки из дна лимана труб старого нефтепровода, глубокие траншеи не были засыпаны и создали дополнительное препятствие для добегания речной воды до водной площади лимана.

Нарушение водного баланса лимана отразилось на его гидрохимическом режиме, для которого всегда были характерны значительные сезонные и многолетние колебания, связанные с климатическими особенностями года. Ионный состав рапы зависит от количества выпавших атмосферных осадков, быстроты таяния снега, средней температуры лета и интенсивности испарения с поверхности. Мелководность, быстрый прогрев и медленное охлаждение водных масс лимана, приводят к росту концентраций в рапе солей и их осаждению в донные отложения.

Рапа лимана – метаморфизированная морская вода хлоридно-натриевого типа по классификации О.А. Алекина, для которой характерно наличие хлоридов (NaCl и MgCl₂) и сульфатов (Na₂SO₄, CaSO₄, MgSO₄). В рапе, как и в морской воде, концентрации ионов Cl⁻ и Na⁺ превышают содержание SO₄²⁻, CO₃⁻, Ca²⁺ и Mg²⁺. С ростом солености в рапе меняется процентное отношение других ионов к основному иону – хлору (табл. 2). Однако отношение общего количества солей в воде к содержанию хлора (хлорный коэффициент) остается для лимана достаточно стабильным – в различные годы он изменялся в диапазоне 1,53-1,66 (среднее 1,59), и незначительно отличается от значения для северо-западной части Черного моря – 1,68–1,82. Отличие ионного состава рапы от нормальной морской воды показывает коэффициент метаморфизации – отношение концентраций солей MgSO₄ к MgCl₂. Для рапы Куяльницкого лимана этот коэффициент > 1. Это означает, что в рапе концентрация сульфатов превышает содержание хлоридов, а снижение этого коэффициента свидетельствует об уменьшении относительного количества сульфатов. Обеднение рапы сульфатами происходит в двух случаях. Первый, когда при солености выше 150 ‰ происходит садка соли в виде нерастворимого CaSO₄·2H₂O (гипс), что неоднократно отмечали в Куяльницком лимане [2, 7]. Во втором случае, рапа обедняется сульфатами при отсутствии постоянного притока морских вод, т.к. атмосферные осадки приносят в экосистему только карбонаты, гидрокарбонаты и ионы кальция, а сульфаты и ионы магния поступают с морскими водами. Именно процесс обеднения рапы сульфатами и наблюдается в Куяльницком лимане в последние годы (табл. 2).

Несмотря на высокий уровень биогенных веществ – соединений азота, фосфора, кремния развитие продукционных процессов в этом гиперсоленом водоеме ослаблено [8]. Соленость более 200 ‰ лимитирует продуцирование нового автохтонного органического вещества, затрудняет насыщение рапы атмосферным кислородом, что ослабляет минерализацию автохтонного и аллохтонного органического вещества и нарушает процесс грязеобразования [4, 8].

Близость расположения к лиману объектов энергетического и нефтеперевалочного комплексов, транспортных магистралей, сброс неочищенных сточных, ливневых и талых вод, поступление в лиман грунтовых вод и вод из источников антропогенного происхождения привели к загрязнению акватории Куяльницкого лимана. В рапе лимана (особенно в его южной части) в последнее десятилетие регистрировали высокие концентрации загрязняющих веществ: нефтепродукты и продукты их разложения (формальдегид и фенолы), тяжелые металлы (медь, свинец, кадмий, цинк, хром, ванадия) и др. Концентрации нефтепродуктов и свинца в отдельных случаях превышали ПДК в несколько раз [12].

С изменением морфометрических характеристик лимана и резким падением уровня воды усилилась роль его донных отложений в формировании гидрохимического режима. Донные отложения лимана представляют собой мощные запасы лечебной грязи (пелоидов), в которых происходят специфические химические и бактериальные процессы.

Таблица 2 – Многолетняя изменчивость солености, ионного состава и хлорного коэффициента рапы Куяльницкого лимана

Источник, год, месяц	S, ‰	Cl ⁻ , ‰	% отношение ионов к хлору				К
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	
Куяльницкий лиман							
Лаборатория горного департамента, 1869, V [7]	257,6	168,48	0,92	20,08	26,10	2,24	1,64
Вериго А.А., 1894, VII [7]	79,4	47,71	1,99	8,90	47,79	4,89	1,66
Комар И.В., 1921, VII [7]	304,7	195,96	1,83	13,76	37,65	1,82	1,55
Бурксер Е.С., 1921, IX [7]	37,4	21,65	2,71	9,59	-	4,85	1,62
КНС-Одесса, 1962, IX [7]	295,0	185,13	0,98	10,37	-	1,86	1,60
Розенгурт М.Ш., 1968, VIII [7]	88,9	83,90	2,10	8,41	-	4,91	1,65
Эннан А.А. и др., 2005, VII [11]	115,7	75,89	2,07	8,35	32,23	4,94	1,53
ОФИНБЮМ, 2012, XII	309,0	198,7	13,8	38,00	1,80	1,80	1,53
ОФИНБЮМ, 2013, I	242,0	158,7	1,02	19,85	2,30	2,20	1,53
ОФИНБЮМ, 2013, II	245,8	154,3	13,74	17,53	1,90	2,20	1,59

К – хлорный коэффициент; $K = S/Cl^-$, где S – минерализация воды, мг·дм⁻³; Cl⁻ – концентрация ионов хлора мг·дм⁻³

В состав пелоидов Куяльницкого лимана входят растворимые (карбонаты, гидрокарбонаты и сульфаты натрия, калия, кальция, магния) и нерастворимые (окислы железа, кальция, магния, кремния, алюминия) соединения, биогенные вещества (соединения азота, фосфора, кремния), органические кислоты, хлорофилл, ферменты, гормоны, витаминopodobные, фолликулоподобные, пенициллиноподобные соединения, гуминовые и другие биологически активные микрокомпоненты. Пелоиды насыщены сероводородом, имеют довольно сложный микробный состав, играющий исключительно важную роль в процессе грязеобразования. В поровых растворах пелоидов (вода в интерстициальных пространствах грунта) содержание основных анионов и катионов выше, чем в рапе. Так, содержание минеральных и органических соединений азота и фосфора, кремния в поровых растворах пелоидов на один-два порядка выше, чем в рапе и превышают значения для других лиманов Северного Причерноморья [8]. Это свидетельствует об интенсивном накоплении и слабой

минерализации органического вещества в пелоидах, что типично для гиперсоленых водоемов, в которых превышение продукции над деструкцией ведет к накоплению автохтонного органического вещества [8]. Мелководность и значительные градиенты концентраций минеральных и органических соединений на границе «рапа-пелоиды» способствуют диффузии этих соединений из пелоидов в рапу [8].

Несмотря на периодическую садку соли, кристаллический гипс в пелоидах лимана не отмечали, что было подтверждено многочисленными исследованиями Е.С. Бурксеры [2, 7]. Значительная часть гипса в лимане восстанавливалась сульфатредуцирующими бактериями до углекислого кальция (CaCO_3) и сероводорода, который повсеместно отмечается в пелоидах. Оставшаяся часть растворялась при поступлении поверхностного стока и осадков, содержащих карбонаты и гидрокарбонаты. Сравнение коллоидно-химических характеристик сульфидных пелоидов лимана за более чем 50-ти летний период показало, что их качество ухудшилось – в них уменьшилось содержание влаги, которое связано с содержанием солей, сероводорода, биологически активных веществ, снизилась пластичность. Снижение содержания сероводорода, начиная с 1975 г., свидетельствует о постепенном затухании биохимических процессов в пелоидах [5].

Таким образом, несмотря на достаточно большие объемы осадков, выпадающих в последние годы, в бассейне лимана быстро развиваются деграционные процессы, выражающиеся в сокращении водой площади, объема воды в лимане и повышении ее солености, т.е. ставится под вопрос не только потеря бальнеологического и рекреационного значения лимана, но и возможная потеря его как водного объекта.

По нашему мнению водная экосистема Куяльницкого лимана прошла так называемую «точку возврата», т.е. без антропогенного вмешательства стабильное восстановление его природных свойств невозможно. Улучшение экологической ситуации после весеннего половодья 2003 г., когда водный объем лимана увеличился в два раза (с 33 млн. м³ в декабре 2002 г. до 68 млн. м³ в апреле 2002 г.), наблюдалось до 2007 г.. Далее деграционные процессы в лимане продолжились и даже ускорились.

Восстановление и стабилизация гидролого-гидрохимического, а затем и гидробиологического режимов Куяльницкого лимана возможно при увеличении в нем объема воды и стабилизации солености в диапазоне 150-180 ‰ – наиболее благоприятной для развития гидробиологических продукционных процессов в гиперсоленых водоемах. Восстановление и поддержание оптимального водно-солевого режима лимана в настоящее время возможно только путем пополнения его водами из внешних источников [8].

Один из вариантов – пополнение лимана пресной водой за счет качественной и всесторонней очистки сточных вод, поступающих с СБО «Северная». В год с СБО поступает до 85 млн. м³ [8]. Сейчас вся эта вода сбрасывается в Хаджибейский лиман. После ввода в эксплуатацию глубоководного выпуска, сброс будет производиться в море – 235 тыс. м³/сут. Половины этого объема (около 120 тыс. м³/сут) хватило бы для компенсации испарения (апрель-октябрь) с водной поверхности Куяльницкого лимана. Необходимо учитывать и тот факт, что после прекращения сброса воды в Хаджибейский лиман, начнется прогрессирующее уменьшение его водной массы. Безусловно, вариант поступления вод СБО возможен только в случае их очистки в соответствии с самыми высокими стандартами, применяемыми в передовых странах ЕС, где используются современные технологии. Это дорогостоящее мероприятие и в современных условиях его осуществление маловероятно, т.к. требуются затраты на повышение степени очистки сточных вод и прокладку трубопровода от СБО «Северная» в Куяльницкий лиман.

Варианты пополнения лимана из р. Днестр и Хаджибейского лимана не обсуждаются ввиду большой стоимости этих проектов. Кроме того, воды Хаджибейского лимана также требуют очистки.

Более реальным представляется вариант запуска морской воды в лиман. Однако при поступлении морской воды в лиман и поднятия его уровня возрастет испарение за счет увеличения площади водного зеркала и снижения солености воды. Следует отметить, что с морской водой в Куяльницкий лиман будут поступать растворенные вещества – с каждыми 100 тыс. м³ до 1,3–1,5 тыс. т, включая хлориды и сульфаты. Так, в Куяльницкий лиман за период работы морского канала в 1907 и 1925 гг. при средней солености морской воды 12 ‰ поступило около 0,12 млн. т растворенных веществ [7].

Проблема пополнения Куяльницкого лимана морской водой будировалась еще в 1900 г. [2]. Тогда, основываясь на результатах шестилетних исследований в Сакском озере, где после пополнения его морской водой для нужд солепромысла на поверхности грязи произошло образование плотной гипсовой корки ухудшившей свойства грязей, от этого варианта отказались. Следует отметить, что морская вода поступала в Куяльницкий лиман в 1907 и 1925 годах, но об ухудшении бальнеологических свойств рапы и пелоидов после попусков морской воды ничего не известно [7], а грязи Сакского озера и по настоящее время используются в бальнеологии.

Морская вода и рапа лимана (метаморфизированная морская вода) относятся к хлоридно-натриевым водам. Из-за значительного различия в солености морской воды Одесского региона (акватория северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) от м. Сычавский до м. Санжейский – стандартный полигон ОФИнБЮМ с 1958 г.), которая имеет соленость 14–15 ‰ и рапы Куяльницкого лимана – 250–300 ‰, содержание в них главных ионов отличаются значительно (табл. 3). Воды Одесского региона (содержат меньше ионов кальция (≈ в 5 раз), магния (≈ в 13 раз), сульфатов (≈ в 3 раза), чем рапа Куяльницкого лимана. Однако процентные соотношения главных ионов в рапе Куяльницкого лимана и в воде северо-западной части схожи (табл. 3), а значения хлорных коэффициентов (отношение количества солей, содержащихся в природной воде, к содержанию хлора) близки – 1,59 для Куяльницкого лимана, 1,68–1,82 для северо-западной части Черного моря.

Таблица 3 – Среднее содержание основных ионов (г·дм⁻³) и их соотношение (%) в рапе Куяльницкого лимана и в СЗЧМ

Акватория	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	S, ‰
г·дм ⁻³							
Куяльницкий лиман [7, 11]	24,46	1,57	6,34	75,89	3,75	0,270	120,0
СЗЧМ [1, 9]	-	0,30	0,48	5,92	1,20	0,135	12,0
% отношение							К
Куяльницкий лиман [7, 11]	21,8	1,4	5,6	67,6	3,4	0,20	1,59
СЗЧМ [1, 9]	31,6	1,4	3,7	55,3	7,5	0,50	1,68

Уровень и диапазон изменчивости биогенных веществ, способных вызвать эвтрофирование природных вод, в рапе Куяльницкого лимана также выше, чем в воде Одесского региона (табл. 4). Аналогичная тенденция отмечена и для загрязняющих веществ.

Отличительной особенностью Куяльницкого лимана являются мощные запасы пелоидов, в которых концентрации минеральных соединений, включая и биогенные вещества, превышают концентрации в рапе. Пополнение лимана морскими водами

приведет к значительному выходу этих соединений из пелоидов и повышению их уровня в рапе [8].

Положительным моментом попусков из моря в лиман может стать поступление сульфатредуцирующих бактерий, которые всегда присутствуют в морских водах. Сульфатредуцирующие бактерии – анаэробные гетеротрофы, способные извлекать кислород из сульфатов, при восстановлении которых в осадок выпадает кальцит (CaCO_3) и выделяется сероводород. Для жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий существенное значение имеет присутствие в рапе и пелоидах лимана углерода, водорода, сульфатов, фосфатов, железа и аммиака. Жизнедеятельность бактерий будет способствовать восстановлению бальнеологических свойств куяльницкой грязи, которая в настоящий момент теряет свои лечебные свойства из-за сверхвысокой солености и снижения биологической активности флоры и фауны, участвующих в образовании пелоидов [4, 5].

Таблица 4 – Диапазон изменчивости биогенных и загрязняющих веществ в рапе Куяльницкого лимана и в воде Одесского региона СЗЧМ

Ингредиент	Куяльницкий лиман [7, 8, 10, 12]	Одесский регион [1, 3, 8, 9]
N-NH_4^+ , мг·дм ⁻³	0,00-3,850	0,00-0,096
N-NO_2^- , мг·дм ⁻³	0,00-0,150	0,00-0,060
N-NO_3^- , мг·дм ⁻³	0,085-1,725	0,00-1,310
$\text{N}_{\text{ОРГ}}$, мг·дм ⁻³	2,10-17,00	0,23-4,92
PO_4^{3-} , мг·дм ⁻³	0,012-1,800	0,00-0,050
$\text{P}_{\text{ОРГ}}$, мг·дм ⁻³	0,003-0,232	0,00-0,073
Si , мг·дм ⁻³	0,24-4,00	0,73-3,22
POB , мгО·дм ⁻³	0,30-28,51	0,68-8,05
Загрязняющие в-ва	> ПДК нефтепродукты, формальдегид, фенолы, Pb, Cd	< ПДК нефтепродукты, Pb, Cd

Отрицательным моментом при пополнении лимана морскими водами может стать садка соли (гипса), кристаллы которого ухудшают физико-механические свойства пелоидов [5]. Для изучения возможности садки соли после пополнения лимана морской водой в ОФИнБЮМ был проведен следующий эксперимент. Рапу лимана с соленостью 309 ‰, отобранную в ноябре 2012 г., смешивали в разных объемных соотношениях с водой Одесского региона – 12,34 ‰. Соленость образующихся растворов изменялась от 165,1‰ (соотношение 1:1) до 83,0 ‰ (соотношение 1:4). Добавление к смеси рапы и морской воды еще и водопроводной воды (соотношение 1:3:1) давало соленость около 84 ‰, что соответствовало значению солености при смешении рапы и морской воды в соотношении 1:4. Растворы хранили в герметически закрытых емкостях объемом 1 л в течение 2 месяцев при температуре 20 °С. Было установлено, что во всех растворах садка соли и образование гипса не происходило. В растворе с соленостью 165 ‰ через 2 месяца выпали хорошо сформированные кубической формы прозрачные кристаллы поваренной соли.

После добавления в эти растворы пелоидов (в весовом соотношении 1:1) и декантации мелкодисперсной взвеси, в каждом растворе через 14 дней на поверхности пелоида отмечали образование белого налета (предположительно гипс) толщиной менее 1 мм. После хранения этих двухфазных систем при комнатной температуре в течение 1 месяца слой осадка увеличился до 2 мм. В растворах с соленостью 112,23 ‰,

84,65 %, 84,22 % после месяца хранения на поверхности пелоида отмечали яйца *Artemia partenogenetica*, а затем и их личинки, которые из-за неблагоприятного кислородного режима и недостатка пищи сохраняли жизнеспособность до 7 дней. Исследование ионного состава этих растворов на содержание ионов хлора, кальция, магния и сульфатов не показало их заметного снижения после образования нерастворимого белесого осадка (предположительно гипса), т.к. поддержание концентраций этих ионов происходило за счет постоянной диффузии из пелоидов.

Таким образом, экспериментальными исследованиями было установлено, что разбавление рапы лимана морскими и пресными водами до солености 165–83 ‰ не сопровождается нарушением равновесия между ионами кальция, магния, сульфатами и выпадение гипса не происходит. Добавление в водную систему пелоидов приводило к медленному формированию на их поверхности микрослоя осадка (предположительно гипса) за счет диффузии сульфат ионов и ионов кальция из них.

Выводы. На основании собственных исследований и анализа литературных источников можно констатировать следующее: на современном этапе гидролого-гидрохимический режим Куяльницкого лимана, вероятнее всего, не может быть оптимизирован только при помощи природных факторов, что предполагает неизбежное пополнение лимана водой из внешних источников. Один из вариантов – пополнение лимана пресной водой, полученной после очистки по современным технологиям сточных вод СБО «Северная», расходы которой составляют 235 тыс. м³/сут. Воды СБО могли бы поддерживать водно-солевой баланс как Куяльницкого, так и Хаджибейского лиманов. Однако такой вариант не может быть реализован в настоящее время, т.к. уровень очистки сточных вод на СБО не соответствует европейским стандартам по многим показателям. Наиболее реальным представляется вариант пополнения лимана морской водой. Снижение солености рапы до 150–170 ‰ активизирует гидробиологические процессы в рапе и биохимические процессы в пелоидах. Выполненные в ОФ ИнБЮМ экспериментальные исследования показали: возможная садка гипса после пополнения лимана морской водой не будет носить катастрофический характер; процесс образования гипса растянут во времени и значительная часть гипса может восстанавливаться сульфатредуцирующими бактериями до карбонатов кальция и сероводорода; оставшаяся часть гипса будет растворяться при поступлении поверхностного стока и осадков, содержащих карбонаты и гидрокарбонаты. Этот процесс отмечали еще в начале XX века [2, 7].

Авторы благодарят м.н.с. ОФ ИнБЮМ Е.В. Соколова за расчеты водосборных площадей бассейна Куяльницкого лимана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алмазов А.М. Гидрохимический очерк // Биология северо-западной части Черного моря. – К.: Наук. думка, 1967. – С. 32-43.
2. Бурксер Є.С. Солоні озера та лимани України (гідрохімічний нарис) // Тр. фіз.-мат. відділу Всіукр. АН – 1928. – Т. 8. – Вип. 1. – 341 с.
3. Доценко С.А., Подплетная Н.Ф., Савин П.Т. Гидрологический режим и современное состояние нефтяного загрязнения моря у берегов Одессы // Вісн. Од. держ. екол. ун-ту. – 2009. – Вип. 7. – С. 210-216.
4. Загоровский Н.А., Багдасарьянц А., Окул А.В. О колебаниях гидрологических и биологических свойств Одесских лиманов // Тр. Всеукр. ин-та курортологии и бальнеологии. – 1933. – Вип. 2. – С. 37-44.

- 5 Нікіпелова О.М. Результати моніторингу колоїдно-хімічних властивостей мулових сульфідних систем Куяльницького лиману та озера Чокрак // Пр. Од. політехн. ун-ту. – 2009 – Вип.1 (13). – С. 169-173.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Украина и Молдавия – Т.6. – Вып. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 444 с.
7. Розенгурт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. – К.: Наук. думка, 1974. – 224 с.
8. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология / Под ред. Ю.П.Зайцева, Б.Г.Александрова, Г.Г. Миничевой. – К.: Наук. думка. – 2006. – 701 с.
9. Черное море. Гидрохимические условия и океанографические основы формирования биологической продуктивности // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. – Т. IV. – Вып. 2. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. – 220 с.
10. Шихалева Г.Н., Редько Т.Д., Бабинец С.К., Каребин А.В., Гордеева Л.В. Изучение динамики содержания биогенных компонентов в акватории Куяльницкого // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2004. – № 48 – С. 313-321.
11. Эннан А.А., Шихалева Г.Н., Бабинец С.К., Мариняко Л.А., Чурсина О.Д., Сизо А.В., Гордеева Л.В. Особенности ионно-солевого состава воды Куяльницкого лимана // Вісн. Од. нац. ун-ту ім. І.І. Мечнікова. – 2006. – Т.11. – Вып. 2. – С.67-74.
12. Эннан А.А., Шихалева Т.Н., Адобовский В.В., Герасимюк В.П., Шихалеев И.И., Кирюшкина А.И. Деградация водной экосистемы Куяльницкого лимана и пути ее восстановления // Причерномор. екол. бюл. – 2012. – №1 (43) – Одесса. – С. 75-85.

Особливості сучасного гідролого-гідрохімічного режиму Куяльницького лиману і прогнозна оцінка його складових в умовах можливого поповнення водоймища морськими і прісними водами.

Адобовський В.В., Богатова Ю.І.

На основі власних натурних вимірів і експериментальних даних проведений аналіз мінливості гідролого-гідрохімічного режиму Куяльницького лиману за останніх 15 років. Зроблено висновок, що на сучасному етапі неможливо довгочасно стабілізувати водно-сольовий та гідрохімічний режим Куяльницького лиману при допомозі природних чинників. Поповнення лиману водою з зовнішніх джерел не приведе до докорінних змін його бальнеологічних властивостей і рекреаційного потенціалу.

Ключові слова: гідролого-гідрохімічний режим, рапа, пелоїди, прогноз, море, Куяльницький лиман.

Peculiarities of the modern hydrological and hydrochemical regime of Kuyalnik liman and predictive estimation of its components under conditions of its replenishment with sea and fresh waters.

Adobovsky V., Bogatova Yu.

The variability of the hydrological-hydrochemical conditions of the Kuyalnik liman during the last 15 years was analyzed on the basis of experimental data and results of direct observations. Natural factors can not stabilize the current water-salt and hydrochemical conditions of the Kuyalnik liman over long periods. Replenishment of the liman with water from the external sources will not lead to radical changes of its balneal and recreational qualities.

Key words: hydrological and hydrochemical conditions, brine, peloids, forecast, sea, Kuyalnik liman.