

Н.Н.Дьяков¹, Ю.А.Мальченко¹, А.Е.Липченко¹,
Т.Ю.Тимошенко¹, Д.А.Жиляев¹, И.С.Матвеева²

¹Севастопольское отделение Государственного
океанографического института им.Н.Н.Зубова, г.Севастополь

²Государственный океанографический институт им.Н.Н.Зубова, г.Москва

КИСЛОТОНАКОПИТЕЛЬ ЗАВОДА «КРЫМСКИЙ ТИТАН», ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС В СЕВЕРНОМ КРЫМУ (АРМЯНСК) И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕГО РЕШЕНИЯ

Рассмотрены современные экологические проблемы Северного Крыма, связанные с эксплуатацией кислотонакопителя завода «Крымский титан» Армянского Филиала ООО «Титановые Инвестиции» в заливе Западный Сиваш. Приведены результаты гидрохимических съемок вод кислотонакопителя, осуществленные осенью 2018 г. Выполнены расчеты компонентов водного баланса кислотонакопителя (количества атмосферных осадков, выпадающих на его поверхность, испарения), а также проанализирована их многолетняя и сезонная изменчивость. Рассчитан объем пресных вод, необходимых для поддержания стабильного уровня жидкости в кислотонакопителе в условиях прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу и аридизации климата Северного Крыма. Приводятся возможные способы решения экологического кризиса в Северном Крыму.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *водный баланс, атмосферные осадки, испарение, экологический кризис, кислотонакопитель, завод «Крымский титан», г.Армянск, залив Западный Сиваш*

doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-83-95

Введение. В конце августа 2018 г. Северный Крым оказался на грани экологической катастрофы, обусловленной грубыми технологическими нарушениями безопасной эксплуатации кислотонакопителя-испарителя (КН) завода «Крымский титан» Армянского Филиала ООО «Титановые Инвестиции». В результате подачи в КН недостаточных объемов пресной воды, предусмотренных технологическим процессом, и интенсивного испарения с его поверхности при одновременном отсутствии атмосферных осадков нарушился баланс вод КН и произошло его частичное высыхание (уровень жидкости понизился ниже критической отметки). В итоге произошло повышение концентрации кислот в КН, и в атмосферу в газообразном состоянии стали попадать серный и сернистый ангидриды, хлористый и фтористый водород. В Армянске был введен режим чрезвычайной ситуации и проведена частичная эвакуация детей.

Целью данной статьи является:

– анализ гидрохимических показателей вод КН и залива Западный Сиваш по данным экспедиционных исследований Севастопольского отделения Государственного океанографического института (СО ГОИН), выполненных осенью 2018 г.;

© Н.Н.Дьяков, Ю.А.Мальченко, А.Е.Липченко,
Т.Ю.Тимошенко, Д.А.Жиляев, И.С.Матвеева, 2019

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.1. С.83-95.

– оценка многолетних изменений величин сезонных компонентов баланса жидкости в КН, определение объема вод, которые необходимо подавать в КН для поддержания его безопасного уровня и предотвращения загрязнения воздуха;

– рассмотрение возможных способов предотвращения экологического кризиса в регионе.

По данным [1] Армянскому Филиалу ООО «Титановые Инвестиции» в Северном Крыму в настоящее время принадлежит только завод «Крымский титан». Главным направлением деятельности ООО «Титановые Инвестиции» в г.Армянске является производство диоксида титана (90 % общего экспорта), который широко применяется в лакокрасочной, резинотехнической промышленности, при производстве пластмасс и других отраслях промышленности. Завод «Крымский титан» является наибольшим химическим предприятием по производству диоксида титана не только в Крыму, но и во всей Восточной Европе.

Следует отметить, что предприятия химической промышленности Армянского Филиала ООО «Титановые Инвестиции» являются градообразующими для г.Армянска, их деятельность обеспечивает ~ 65 % поступления местных доходов городского бюджета. После 2014 г. завод «Крымский титан» испытывал серьезные трудности, связанные с загрязнением природной среды отходами производства, доставкой достаточного количества сырья для производства продукции, отсутствием необходимого количества технической воды для производственного цикла, доставкой готовой продукции на материковую часть России и ограничением ее сбыта вследствие санкций стран Запада и Украины. К концу 2017 г. большинство проблем было преодолено за исключением тех, которые связаны с экологией и дефицитом технической воды для КН.

После перекрытия Украиной Северо-Крымского канала (СКК) в 2014 г. подача пресной технической воды для завода «Крымский титан» осуществлялась из артезианских скважин в достаточно ограниченном объеме и, как в итоге оказалось, не была способна обеспечить необходимый технологически безопасный уровень жидкости в КН. Изначально планировалось, что завод «Крымский титан» будет работать на привозном сырье (ильменитовой руде). Использовалась в основном руда, поставляемая Иршанским ГОК (Житомирская обл., Украина). Согласно [2], этот факт уже противоречит основному экологическому принципу – максимально опираться на местные сырьевые ресурсы. Кроме того, во время мониторинга загрязнения природной среды в районе КН был допущен ряд принципиальных ошибок:

– мониторинг проводился непосредственно Армянским Филиалом ООО «Титановые Инвестиции». По нашему мнению, такой мониторинг должна проводить сторонняя независимая организация, например, специализированное подразделение Росгидромета;

– главной задачей соответствующих экологических служб ООО «Титановые Инвестиции» и Крыма являлся, прежде всего, мониторинг загрязнения атмосферного воздуха. Вместе с тем, основной причине такого загрязнения – состоянию водной среды КН (уровню жидкости и концентрации кислот в нем) – не уделялось должного внимания.

По данным [3] в результате деятельности завода «Крымский титан» образуются следующие отходы:

– фосфогипс (ФГ) – малотоксичный пожаро- и взрывобезопасный отход производства минеральных удобрений. ФГ размещается в фосфогипсохранилище, которое представляет собой специально построенное хранилище открытого типа площадью 16 – 25 га с устройством дренажного стока. Расположено фосфогипсохранилище на Присивашской равнине у юго-восточной границы промплощадки (на 9,25 км к северо-западу от г.Армянска). По различным оценкам [3, 4] на 2010 – 2011 гг. объем накопления составил от 612 до 2497 тыс. т. Расчетный срок эксплуатации фосфогипсохранилища – до 2027 г.;

– пиритные огарки – отход сернокислотного производства при использовании в качестве сырья серного колчедана, размещен в огарконакопителе, который служит промежуточной емкостью для отвода стоков ФГ. Расположен огарконакопитель в юго-западной части залива Западный Сиваш, занимает площадь 167,0 га. На 2011 г. в огарконакопителе хранилось 134,4 – 349,9 тыс. т огарков, 1,5 тыс. т ФГ;

– гидролизная кислота – представляет собой отход производства двуокиси титана, токсична, раздражает кожу, класс опасности 2. Состав данного отхода: железо – 2,88 %, титан – 0,41 %, серная кислота – 18,99 %. Основной объем в виде суспензии (шлама) сбрасывается в КН.

Результаты и обсуждение. Кислотонакопитель-испаритель завода «Крымский титан». Несмотря на отсутствие собственного сырья, основной причиной строительства химических заводов вблизи Армянска явилась возможность использования естественных резервуаров воды (заливов Западного Сиваша) для сброса промышленных стоков и доступная в то время пресная воды из СКК, необходимая для производственного цикла [5].

Залив Сиваш представляет собой обширный (площадь залива ~ 2540 км²) мелководный (глубины 0,5 – 3 м) соленый залив Азовского моря [6, 7]. На западе границей Сиваша является Перекопский перешеек, а на востоке – Арабатская стрелка. Залив состоит из ряда мелководных соленых водоемов, разделенных большим числом островов и т.н. «засух» (отмелей) и существенно различающихся между собой по гидрологическому и гидрохимическому режимам. Чонгарский п-ов разделяет залив Сиваш на два больших водоема – Западный и Восточный Сиваш общей площадью 1110 и 1433 км² соответственно [6]. Площадь непосредственно водного зеркала составляет 581 км² для Западного Сиваша и около 1300 км² для Восточного, остальная площадь приходится на острова и засухи. Объем воды в заливе Сиваш в зимние месяцы составляет 1,93 млрд. м³ [6, 8]. Водообмен залива Сиваш с Азовским морем осуществляется через пролив Генический (Тонкий).

Глухая земляная Кутаранская дамба, сооруженная в 1959 г. в связи с планом реконструкции Красно-Перекопского бромного завода, делит Западный Сиваш на два изолированных водоема: Западный (Кутаранский залив) с площадью водной акватории 202 км² и Средний (353 км²) (рис.1).

В результате интенсивных процессов испарения и затрудненного водообмена и ранее (до строительства Кутаранской дамбы) большую часть года в заливе преобладали засухи. Вода (рапа) поступала преимущественно при ветровых нагонах. Глубина Западного водоема обычно не превышала 30 –



Р и с . 1 . Карта схема Северного Крыма и залива Сиваш: кислотонакопитель (КН); Западный Сиваш (I) (Западный залив (Ia), Средний залив (Iб)); Восточный Сиваш (II); Каркинитский залив Черного моря (III); дамбы (кислотонакопителя (ДП), Кутаранская (ДШ), Биюк-Найманская (ДШ), Чонгарская (ДЧВ)).

40 см. Западный водоем в настоящее время представляет собой практически изолированный испарительный водоем, уровень воды которого полностью регулируется Кутаранской дамбой и поддерживается в том объеме, который необходим для функционирования бромного завода [9].

КН, расположенный между полуостровами Ад и Литовский, представляет собой замкнутый водоем, отшнурованный от залива Западный Сиваш построенной дамбой длиной 7 км и высотой 6 – 7 м [5]. Физико-географические характеристики накопителя, проектные и фактические, по [3 – 5] представлены в табл.1.

В настоящее время в КН поступают промышленные стоки завода «Крымский титан», ранее сбрасывались отходы анилино-красочного завода, других предприятий региона, а также неочищенные канализационно-бытовые стоки г.Армянск. Объем удалённых отходов в КН на 2002 г. составлял 103,702 тыс. т [4].

Следует отметить, что сброс сторонних отходов не учтен в проекте КН и может привести к выходу его из строя, усилению загрязнения воздуха и подземных вод. По мнению [1], компоненты нештатных сбросов в КН могут взаимодействовать между собой, образуя новые вещества, в том числе гораздо более опасные, чем исходные, а рост концентраций галогенидов (хло-

Т а б л и ц а 1 . Физико-географические характеристики КН (по [3, 4]).

показатель	проект	2004 г. (по [3])	2018 г.	2019 г.
			данные СО ГОИН	
объем воды (жидкости), млн. м ³	54,0	15,4	–	–
площадь зеркала, км ²	43,0	35,7	21,5	28,0
уровень, м	2,00	1,34	< 1,10	< 1,30
концентрация серной кислоты, макс	1,2 % масс.	4,9 % масс.	30,0 % масс.	7,5 % масс.

ридов, бромидов) в КН неизбежно будет приводить к изменению состава атмосферного воздуха вблизи КН.

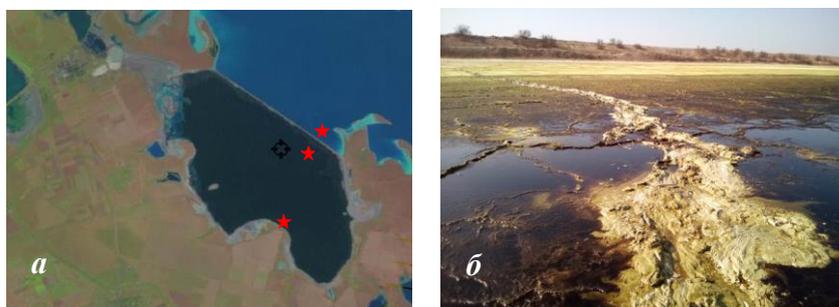
Воздействие КН на окружающую природную среду крайне негативно отражается на атмосфере, гидросфере, почвах, флоре Северного Крыма [2, 3, 5]. Следует отметить, что наступившая экологическая катастрофа в районе кислото- и шламохранилищ Армянской промышленной зоны не является чем-то неожиданным и давно прогнозировалась различными экологическими организациями, в том числе и авторами статьи [10].

Гидросфера. Весь комплекс причин, приведших к сложившейся ситуации, является классическим примером ряда технологических и экологических просчетов, главным из которых является решение о строительстве комплекса экологически опасных производств на ограниченном участке территории, экологическая устойчивость которой возможна только при минимизации всякого рода воздействий. Большая площадь зеркала водоемов приемников стоков загрязняющих веществ при малой их глубине создает идеальные условия для образования высококонцентрированных рассолов и даже к их полному пересыханию, что и случилось в засушливое лето 2018 г. И если раньше пересыхание озер компенсировалось подтоплением водами из СКК, то в условиях его перекрытия увлажнение их поверхности происходит только за счет атмосферных осадков и сбросами сточных вод [10].

Согласно [3], индикаторами воздействия при гидродинамическом и гидрохимическом влиянии КН на окружающую среду служат концентрации ионов тяжелых и редких металлов, фильтрующихся в почву и грунтовые воды в районе КН, а также изменение химического состава в поверхностных водоемах в районе размещения КН.

2000 – 2017 гг. По данным [5] с начала 2000 г. концентрация кислоты в КН имела тенденцию к повышению и составляла в среднем 5 – 7 % объема жидкости. Причем в августе – сентябре она повышалась до 9 и 10 %. При этом в [5] прямо указывается, что концентрация серной кислоты в КН зависит как от объемов ее производства (сброса стоков), так и от уровня воды в КН, обусловленной сезонной и межгодовой изменчивостью компонентов водного баланса накопителя, прежде всего испарения.

2018 г. В сентябре и октябре 2018 г. сотрудниками СО ГОИН было проведено исследование химического состава вод КН и залива Сиваш (рис.2).



Р и с . 2. Экспедиционные исследования СО ГОИН в районе КН в сентябре – октябре 2018 г.: схема станций взятия проб (а); состояние КН 18 октября 2018 г. в районе юго-восточного участка (б).

В отобранных пробах определены величины кислотности и щелочности, а также содержание общего фосфора и металлов (атомно-абсорбционным методом). Основные физико-химические показатели вод КН и других промышленных водных объектов представлены в табл.2 – 3.

Из данных табл.3 следует, что воды КН характеризуются высокими значениями кислотности. Содержание хлоридов в его водах нам измерить не удалось из-за высокого содержания сульфатов, которые мешают проведению аргентометрического титрования.

Вместе с тем, сам показатель кислотности в октябре 2018 г. оставался достаточно высоким и соответствовал ~30 %-му раствору серной кислоты, что существенно превышает проектные нормативы. В целом, нет никаких оснований утверждать о наличии положительной тенденции в улучшении экологической ситуации в Северном Крыму, т.к. отмеченные изменения, скорее всего, являются следствием поступления воды в КН с атмосферными осадками, и при развитии неблагоприятной метеорологической ситуации следующим летом (повышение температуры воздуха, усиление скорости ветра и т.д.) концентрации кислот могут снова увеличиться вследствие интенсификации процессов испарения воды. Несмотря на близость промышленных объектов, в 2018 г. их влияние существенно не определяло гидрохимический состав расположенных поблизости природных водоемов – залива Западный Сиваш. По величине солености воды Сиваша, отделенные от КН земляной дамбой, принципиально не отличались от вод других гиперсоленых озер Крымского п-ова, соленость которых в летний и начале осеннего сезонов близка к началу садки солей (табл.2). Осенью 2018 г. экстремально высокие значения концентраций форм фосфора, величины рН и щелочности в заливе Западный Сиваш также не наблюдались.

В табл.3 представлены величины концентрации микроэлементов в водах различных водных объектов Северного Крыма в сентябре 2018 г. Заметно, что наибольшее влияние КН на залив Западный Сиваш проявляется в увеличении содержания железа и алюминия, концентрации которых более чем в 200 раз превышают ПДК. Для других

Таблица 2. Результаты химического анализа проб накопителей промышленных стоков в Северном Крыму в 2018 – 2019 гг.

дата	объект	T, °C	плотность, г/см ³	рефракция, n ₂₀	хлориды, мг/л	соленость, ‰	P-PO ₄ , мг/л	P _{общ} , мг/л	рН	щелочность (+)/кислотность (-), ммоль/л
13 сентября 2018 г.	КН	32,0	1,535	1,4385	–	–	–	45,5	–	–9089
	залив Сиваш	32,0	1,232	1,3866	176	263	0,41	1,6	7,15	73
18 октября 2018 г.	КН	25,4	1,500	1,4333	–	–	–	11,1	–	–8282
23 января 2019 г.	КН	3,0	1,206	1,3760	–	–	–	43,0	–	–1607

Т а б л и ц а 3 . Содержание тяжелых металлов в водах (в мг/л и долях ПДК [13]) и грунте КН (мкг/г), а также водах залива Западный Сиваш (в мкг/л и долях ПДК [13]) осенью 2018 г.

объект	ед. изм.	Cd	Pb	As	Co	Cu	Ni	Cr	Mn	Fe	Al	Zn
КН (вода)	мг/л	1,96	13,8	71,5	104	3403	642	2386	14414	45570	48426	8299
	ПДК	196	1380	7150	20800	68060	64200	119300	288280	911400	1210650	165980
залив Западный	мкг/л	0,0004	0,005	0,012	0,01	0,003	0,013	0,003	0,12	11,22	9,05	0,727
Сиваш (вода)	ПДК	0,04	0,5	1,2	2,0	0,6	1,3	0,15	2,40	224,4	237,5	14,54
КН (грунт)	мкг/г	0,22	6,3	12,3	6,5	49	10,2	42	445	13800	28400	83

элементов подгруппы железа (кобальта и никеля) превышение нормируемых величин в водах Сиваша существенно меньше. Низкие концентрации в Сиваше мышьяка, склонного к трансграничной миграции вследствие его высокой летучести, могут свидетельствовать об отсутствии значимого переноса этого элемента с аэрозолями кислоты.

Атмосферный воздух. Учитывая большую площадь, дефицит влаги и интенсивное испарение в теплое время года, КН оказывает крайне негативное влияние на воздушную среду, что создает предпосылки экологической катастрофы на Крымском п-ове. В результате действия ветра кислотные испарения могут переноситься на значительные расстояния и, выпадая в виде кислотных осадков, загрязнять источники питьевой воды и водохранилища, наносить ущерб сельскохозяйственным культурам, растениям. Причина такого ущерба кроется как в прямом воздействии, которое оказывают кислотные дожди на растения, так и в нарушениях минерализации почвы. Если ранее повышенные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе фиксировались в непосредственной близости от накопителя, то в настоящее время они охватывают почти всю территорию Северного Крыма. Уже в начале 2000-х гг. на п-ове Ад серная кислота в атмосфере достигала от 2,3 до 3,7 ПДК для воздуха, а соляная кислота 1,05 – 2,8 ПДК [5]. Примеси фтористого водорода в атмосферном воздухе в районе КН достигали 11,5 ПДК. В настоящее время состояние загрязнения воздуха КН достигло критических отметок, в результате чего в сентябре 2018 г. в Армянске была произведена эвакуация детей. Если ранее [5] кислотный состава осадков вблизи накопителя был в норме (рН = 6,91 – 7,14), то сейчас вероятность выпадения кислотных осадков в Крыму в конце лета – начале осени резко возросла.

В сентябре 2018 г. после выброса загрязняющих веществ в районе КН специалистами СО ГОИН был возобновлен мониторинг состояния выпадающих осадков в черте г.Севастополя. 6 – 11 сентября 2018 г. нами были отобраны и проанализированы пробы выпавших атмосферных осадков. Результаты анализа представлены в табл.4.

Т а б л и ц а 4. Результаты химического анализа проб дождевой воды в г.Севастополе в сентябре 2018 г.

сведения об отобранной пробе		химические свойства			
снятие пробоотборника (дата, время)	осадки R, мм	pH	фосфор минеральный, мкг/л	общий фосфор, мкг/л	щелочность (+)/кислотность (-), ммоль/л
6 сентября 15:00	15	7,88	22,4	32,2	+ 0,221
7 сентября 11:30	15	5,49	9,5	13,0	- 0,101
10 сентября 13:00	4,1	7,52	31,3	37,7	+ 0,063

Проба, отобранная 6 сентября 2018 г., характеризовалась щелочным значением pH, что связано с промывкой столба атмосферы, насыщенного пылевыми частицами после длительного засушливого периода. Учитывая наличие большого количества карбонатных пород в окрестностях г.Севастополя и преобладающее направление ветров восточного направления в период отбора пробы, наблюдающаяся слабощелочная реакция дождевой воды в сочетании с высоким значением щелочности является вполне нормальным. В дальнейшем, после промывки атмосферы, величина pH снизилась до слабокислой реакции, характерной в основном для осадков, содержащих лишь растворенный углекислый газ из атмосферы, а титруемая кислотность выросла до 0,1 ммоль/л. Одновременно произошло и снижение концентраций минерального и общего фосфора, достигших величин свойственных морским водам.

В результате мер, предпринятых Армянским Филиалом ООО «Титановые Инвестиции» по увеличению объема сброса технической воды в КН, сезонного увеличения количества выпавших атмосферных осадков и уменьшения испарения, к январю 2019 г. концентрация кислот уменьшилась до 7,5 вес. %.

Водный баланс КН. Гидрохимический состав КН формируется изменчивостью компонентов водного баланса (испарением, атмосферными осадками, водами залива Западный Сиваш, поступающими в результате фильтрации через дамбу, грунтовыми водами), а также промышленными и хозяйственно-бытовыми стоками.

Уравнение водного баланса КН может быть записано в виде:

$$V_{зв} + V_{ос} - V_{исп} = \Delta B, \quad (1)$$

где ΔB – изменение объема КН (км³); $V_{зв}$, $V_{ос}$, $V_{исп}$ – сток промышленных и хозяйственно-бытовых загрязненных вод, осадки и испарение с поверхности залива (км³) соответственно. Фильтрация воды через дамбу, склоновый сток, поступление грунтовых вод ранее не изучались, однако можно предположить, что по сравнению с другими компонентами баланса они, скорее всего, незначительны. Поэтому соответствующие члены в уравнение (1) не включены.

Для расчета количества атмосферных осадков, выпадающих на поверхность КН, использовался массив данных наблюдений на метеостанции (МС) Ишунь и морской гидрометеостанции (МГ) Геническ за 1995 – 2018 гг.

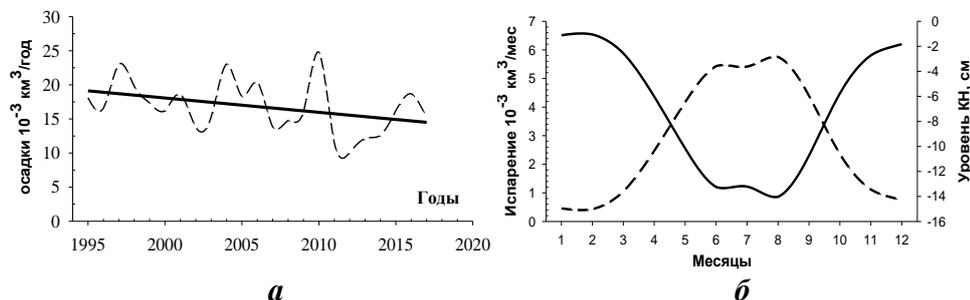
Расчет среднемесячных величин испарения (E) проводился по эмпирической формуле В.С.Самойленко [11, 12]:

$$E = C_z U_z (e_0 - e_z), \quad (2)$$

где E – количество испаряющейся влаги (мм); U_z – скорость ветра (м/с) на высоте z ; e_0 – парциальное давление водяного пара (гПа) при температуре поверхности слоя воды с учетом ее минерализации; e_z – парциальное давление водяного пара (гПа) на высоте z ; $C_z = 3,5$ – безразмерный эмпирический коэффициент для месячных значений испарения.

Следует отметить, что формула В.С.Самойленко используется для расчета испарения с поверхности морских вод, к которым жидкость в КН можно отнести достаточно условно, поэтому величины испарения, полученные по формуле (2), являются оценочными. Для более точного расчета испарения с поверхности КН следует провести отдельные исследования. При расчетах за многолетний период площадь КН принималась равной $41,0 \text{ км}^2$, за 2014 – 2018 гг. – $35,735 \text{ км}^2$.

Атмосферные осадки. В многолетнем ходе объема атмосферных осадков, поступивших в КН за последние 23 года (рис.3, а), заметна тенденция к уменьшению их количества. Параметры линейных трендов за 1995 – 2017 гг. представлены в табл.5.



Р и с . 3. Многолетний ход объема атмосферных осадков, поступивших в КН за 1995 – 2018 гг. (жирная линия – тренд) (а) и внутригодовой ход количества испарения ($10^{-3} \text{ км}^3/\text{мес}$) с поверхности КН и его вклад в уменьшение уровня воды (пунктирная линия) (б).

Т а б л и ц а 5. Среднегодовое количество атмосферных осадков, поступивший в КН за 1995 – 2017 гг., и параметры линейных трендов их изменений.

период	сезон	среднее, км^3	параметры линейного тренда				
			$b, 10^{-3} \text{ км}^3/\text{год}$	$\Sigma\Delta, 10^{-3} \text{ км}^3$	R^2	P_0	F
1995 – 2017 гг.	год	16,810	– 0,2099	– 4,618	0,142	0,08	3,462
	зима	4,405	0,0234	0,515	0,010	0,65	0,206
	весна	4,274	– 0,0095	– 0,209	0,002	0,85	0,365
	лето	4,009	– 0,1504	– 3,309	0,215	0,03	5,757
	осень	4,122	– 0,0541	– 1,190	0,051	0,30	1,129

Примечание: жирным шрифтом выделены угловые коэффициенты трендов (b), значимые на 95 %-ном уровне, $\Sigma\Delta$ – общее изменение («размах» тренда) за расчетный период стока.

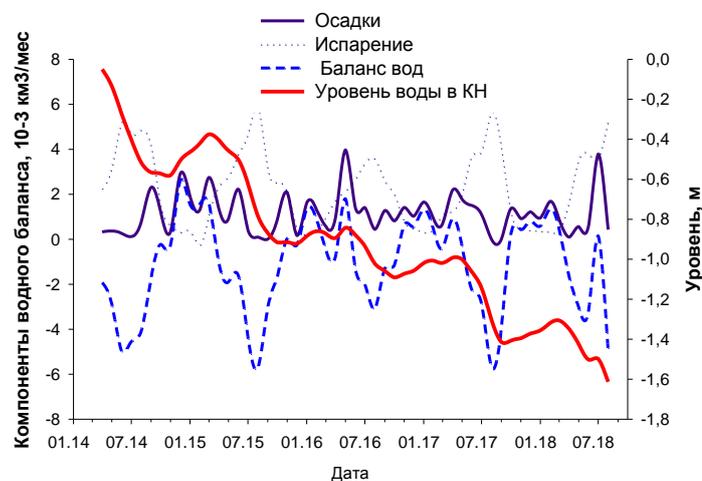
Прежде всего, это касается осадков в летний период, где выявлен значимый на 95 % уровне отрицательный тренд ($-1,504 \cdot 10^{-3}$ км³/10 лет). В остальные сезоны года тренды не значимы. Таким образом, существенное увеличение объема осадков, поступающих в КН, в ближайшие полгода маловероятно. Объем поступающих в КН осадков имеет выраженный сезонный ход с максимумом в теплый сезон года (май – июнь). Минимум осадков выпадает в июле – ноябре, феврале. Такое распределение осадков (континентального типа) типично для Северного Крыма и Северного Причерноморья [11]. Если перевести объем выпавших атмосферных осадков в приращение уровня КН, то их вклад за 1995 – 2017 гг. может быть оценен в 41 см/год.

Испарение с поверхности КН является основной расходной частью его водного баланса. Его среднееголетняя величина за рассматриваемый период составляет $34,13 \cdot 10^{-3}$ км³, т.е. более чем в 2 раза превышает количество выпадающих осадков. Наибольшее количество воды испаряется в теплое время года (май – сентябрь) – $25,17 \cdot 10^{-3}$ км³ (73,7 %). В целом испарение за год понижает уровень КН на 83,3 см (рис.4). В отдельные годы с интенсивной ветровой активностью (2000 – 2004 гг.) снижения уровня КН в результате испарения может превышать 1 м.

Сток в КН состоит из сбрасываемых промышленных и хозяйственно-бытовых загрязненных вод ($V_{зв}$) на основе технической пресной воды, подаваемой ранее из СКК, а сейчас из артезианских источников. Согласно [2, 5], КН был построен и сдан в эксплуатацию в 1971 – 1973 гг. Планировалось сбрасывать в КН промышленных стоков завода «Крымский титан» в количестве 50 тыс. м³/сут зимой и 80 тыс. м³/сут летом, в т.ч. 120 т/сут серной кислоты в перерасчете на моногидрат [6]. В 80-х гг. прошлого века объем сбросов в среднем достигал 90 – 100 тыс. м³/сут. Как следует из табл.1, по проекту предельная отметка заполнения КН составляет 2,0 м. К середине 80-х гг. уровень воды в КН повысился до критической отметки (2,9 м) и произошло затопление 430 га близлежащей земли [6]. К 2004 г. уровень воды в КН не превышал 1,34 – 1,35 м при площади водного зеркала 35,735 км² [3, 6]. Рассчитанный нами по этим характеристикам баланс пресных вод ($V_{ос} - V_{исп}$) с 1 апреля 2014 г. по 1 сентября 2018 г. без учета поступления пресных и сточных вод приведен на рис.4. Как следует из рисунка, при полном отсутствии сбросов вод в КН за период 2014 – 2018 гг. его уровень должен был уменьшиться на 1,6 м. Понижение уровня КН до отметок 1,34 м от проектного (2,0 м) к 2004 г. свидетельствует о сокращении величины сбрасываемых пресных и сточных вод на $27,1 \cdot 10^{-3}$ км³/год (74 тыс. м³/сут). Для того, чтобы поддерживать уровень в 1,34 м, в КН необходимо поступление пресных и сточных вод в объеме $13,4 \cdot 10^{-3}$ км³/год (36,7 тыс. м³/сут). Таким образом, для поддержания проектного уровня КН необходимо поступление $\sim 40,5 \cdot 10^{-3}$ км³/год (100 тыс. м³/сут) технических и сточных вод.

Возможные решения экологического кризиса, связанного с КН, в краткосрочной перспективе. В настоящее время возможны следующие меры по предотвращению экологического кризиса, связанного с КН:

- использование подземных вод из новых артезианских источников;
- уменьшение концентраций кислотности в КН путем гашения известковым молоком, обработка специальными растворами засух;



Р и с . 4 . Многолетний ход компонентов водного баланса КН ($10^{-3} \text{ км}^3/\text{мес}$) и его вклад в уменьшение уровня воды (красная линия) в случае отсутствия притока вод.

- возобновление подачи Украиной воды по СКК;
- подача воды (рапы) из залива Западный Сиваш;
- подача черноморской воды из Каркинитского залива Черного моря.

Возобновление подачи воды из Украины по СКК действительно решило бы проблему, но оно представляется крайне маловероятным по политическим причинам, даже несмотря на то, что от экологического кризиса страдает население не только Северного Крыма, но и Херсонской области.

Закачка воды (рапы) из залива Западный Сиваш довольно дешева, организовать ее возможно в кратчайшие сроки, но соленость рапы в Западном заливе в настоящее время экстремально высока (в сентябре 2018 г. достигала 263 ‰). При такой высокой солености не исключена реакция серной кислоты и сивашской рапы с выделением и последующим испарением соляной кислоты. Даже если такой реакции и не будет происходить, в теплое время возможно перенасыщение воды в КН и осаждение солей.

Организация подачи морской воды из Каркинитского залива достаточно затратная и требует времени для реализации такого проекта. При этом представляется необходимым провести специальные исследования по химическому взаимодействию черноморских вод и жидкости в КН.

Поддержание уровня жидкости в КН за счет подачи воды из разработанных новых артезианских источников, при систематическом уменьшении концентраций кислот в КН путем гашения известковым молоком, в настоящее время, скорее всего, является наиболее оптимальным способом предотвращения будущих негативных экологических последствий, аналогичных лету – осени 2018 г. При этом следует понимать, что, учитывая большой объем накопленных кислот КН, процесс уменьшения его кислотности гашением известковым молоком займет многие годы и потребует большого объема извести, а разработка дополнительных артезианских скважин может существенно ухудшить водоснабжение агропредприятий Крыма, привести к засолению подземных горизонтов в Северном Крыму.

Заключение. Воздействие кислотонакопителя-испарителя завода «Крымский титан» Армянского Филиала ООО «Титановые Инвестиции» на окружающую природную среду крайне неблагоприятно отражается на атмосфере, гидросфере, почвах, флоре. Высокая кислотность вод КН свидетельствует о превышении проектных нормативов по содержанию кислоты более чем в 3 раза. Превышение ПДК по концентрации микроэлементов в КН достигает шестого математического порядка, что представляет непосредственную опасность для всех близкорасположенных объектов. В настоящее время можно сделать вывод о влиянии вод КН на расположенный рядом залив Сиваш только по содержанию железа, алюминия и цинка. При дальнейшем повышении концентрации кислоты вполне вероятно усиление миграции и других элементов.

В многолетнем ходе объема атмосферных осадков, поступивших в КН за последние 23 года, заметна тенденция к уменьшению их количества. Прежде всего, это касается осадков в летний период, где выявлен значимый на 95 % уровне отрицательный тренд. Испарение с поверхности КН является основной расходной частью его водного баланса. Его среднееголетняя величина за рассматриваемый период более чем в 2 раза превышает количество выпадающих осадков. Наибольшее количество воды (73,7 %) испаряется в теплое время года (май – сентябрь). Для того чтобы поддерживать уровень в 1,34 м, в КН необходимо поступление пресных и сточных вод объемом $13,4 \cdot 10^{-3}$ км³/год (36,7 тыс. м³/сут).

Поддержание необходимого технологического уровня жидкости в КН за счет подачи воды из разработанных новых артезианских источников, при систематическом уменьшении концентраций кислот в КН путем гашения известковым молоком, в настоящее время является наиболее оптимальным способом предотвращения будущих негативных экологических последствий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Совга Е.Е., Щурова Е.С.* Ресурсный потенциал озера Сиваш и современное экологическое состояние его акватории // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– 2013.– вып.27.– С.276-284.
2. *Сивашский регион: краткая социально-экономическая характеристика.*– Киев: Черноморская программа Ветландс Интернешнл, 2007.– 178 с.
3. *Касимов А.М., Реута Е.Е.* Перспективные процессы переработки и утилизации некоторых отходов производства минеральных удобрений // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.– 2011.– т.5, № 6(52).– С.66-70.
4. *Реестр місць видалення відходів.* [Электронный ресурс].– URL: http://www.old.menr.gov.ua/docs/garbage/ag-krum/reestr_MVV_krum.doc (дата обращения 20.01.2018)
5. *Баширцева Е.В.* Оценка влияния аквального техногенного объекта на компоненты геосистемы прибрежно-морских территорий // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– 2003.– вып.9.– С.106-113.
6. *Гидрометеорологический справочник Азовского моря.*– Л.: Гидрометеоиздат, 1962.– 853 с.
7. *Понизовский А.М.* Соляные ресурсы Крыма.– Симферополь: Крым, 1965.– 166 с.

8. *Дьяков Н.Н., Белогудов А.А., Тимошенко Т.Ю.* Оценка составляющих водного баланса залива Сиваш // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– 2013.– вып.27.– С.439-445.
9. *Совга Е.Е., Дьяков Н.Н., Еремина Е.С.* Система мониторинга залива Сиваш в современных условиях // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.– 2018.– вып.2.– С.22-38.
10. *Мальченко Ю.А., Боброва С.А., Жидкова Л.Б., Рябинин А.И., Холопцев А.В.* Загрязнение вод Черного моря эвтрофирующими микроэлементами // V Международный симпозиум «Экологические проблемы Черного моря».– Одесса: ОЦНТЭИ, 2003.– С.238-242.
11. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.IV. Черное море.*– СПб.: Гидрометеоздат, 1991.– 428 с.
12. *Остроумова Л.П.* Расчет испарения с поверхности водных объектов в устьевых областях рек южных морей России // Метеорология и гидрология.– 2004.– № 9. – С.81-96.
13. *Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 № 45203).*

Материал поступил в редакцию 24.01.2019 г.
После доработки 22.02.2019 г.

N.N.Diakov, Yu.A.Malchenko, A.E.Lipchenko, T.Yr.Timochenko,
D.A.Gilyaev, I.S.Matveeva

«CRIMEAN TITANIUM» ACID PLANT, ECOLOGICAL CRISIS IN THE
NORTHERN CRIMEA (ARMYANSK) AND POSSIBLE WAYS OF ITS DECISION

The current environmental problems of the Northern Crimea related to the operation of the acid accumulator of the Crimean Titan plant of the Armyansk Branch of «Titanium Investments» in the Western Sivash are considered. The results of hydrochemical surveys of the acid reservoir waters carried out in the autumn of 2018 are given. The water balance components for the acid accumulator (precipitation falling on its surface, evaporation) are calculated, and their long-term and seasonal variability is analyzed. The fresh water volume needed to maintain a stable level of liquid in an acid storage tank is calculated after loss of water supply through the North-Crimean Canal and aridization of the climate of the Northern Crimea. Possible ways of solving the ecological crisis in the Northern Crimea are given.

KEYWORDS: water balance, precipitation, evaporation, ecological crisis, acid storage, «Crimean Titanium», Armyansk, the Western Sivash Bay