



## МОНИТОРИНГ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ДОЖДЕВЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМА (ГЕРАКЛЕЙСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Л.Л. Смирнова<sup>1</sup>, Е.В. Катунина<sup>2</sup>, О.С. Сизова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

<sup>2</sup> Севастопольское отделение Государственного океанографического института

им. Н.Н. Зубова, РФ, г. Севастополь, ул. Советская, 61

E-mail: inik48@inbox.ru

Изучена зависимость величины рН дождевых выпадений на Гераклейском полуострове от их продолжительности и направления атмосферного переноса. Исследования, проведенные с 2009 по 2016 гг., показали, что с 2013 г. наблюдается тенденция подкисления дождевых выпадений (рН <7,00), которая особенно выражена в летний и осенний сезоны. Отмечено, что после засушливых периодов рН первых порций дождей, вымывающих из нижних слоев тропосферы накопившиеся поллютанты, характеризуется щелочными значениями (7,25 < рН <8,87). Рассматриваются потенциальные источники загрязнения тропосферы Крымского полуострова кислотообразующими окислами, соединениями аммония, детергентами, которые влияют на формирование величины рН дождевой воды.

**Ключевые слова:** Гераклейский полуостров, дождевые выпадения, величина рН, источники загрязнения тропосферы

Поступила в редакцию: 16.07.2023. После доработки: 15.08.2023.

**Введение.** Атмосферные осадки – дождевые выпадения и снег являются источником пресной воды на Крымском полуострове. Интенсивное таяние снега в горах Крыма при потеплении пополняет большинство рек и водохранилища полуострова. Дожди различной интенсивности также пополняют водохранилища, поддерживают уровень крымских рек, родниковых и подземных вод – основных источников водопотребления в различных районах Крыма [1, 2]. Количество атмосферных осадков и химический состав дождевых выпадений, которые используются для обеспечения населения питьевой водой и в сельскохозяйственной сфере, имеют большое значение.

Возрастающее загрязнение нижних слоев тропосферы от природных и антропогенных источников [3–8] влияет на состав химического загрязнения дождевой воды. Основной интегральной характеристикой химического состава любого раствора, которым является и дождевая вода, считается величина рН, которая для питьевой воды нормируется СанПиН 2.1.4.1074-01 [9]. Контроль ве-

личины рН дождевой воды позволяет без проведения комплекса анализов на отдельно взятые химические компоненты оценивать химическую природу (кислотную или щелочную) преобладающих в атмосфере загрязняющих веществ, определять их сезонную динамику и потенциальные источники загрязнения тропосферы.

В процессе миграции в нижних слоях тропосферы капель воды, образующих облачные системы, формируется их химический состав. Как отмечено в работе [10] водородный показатель дождевой воды в условно чистой атмосфере изменяется от 5,50 до 5,70 ед. рН. Уровень ее подкисления или подщелачивания определяется растворением газообразных компонентов воздуха и аэрозолей различного происхождения, поступление которых в приземные слои тропосферы возрастает с каждым годом [6, 11]. Подкисление дождевой воды происходит при растворении в дождевых каплях двуокиси углерода (СО<sub>2</sub>) и поступающих в тропосферу окислов серы, азота из различных антропогенных источников [12, 13]. Подщелачивание – при растворении

соединений щелочной природы, в том числе анионных детергентов, которые поступают в прибрежные акватории западного побережья Крыма с неочищенными сточными водами [8], испаряются с морской поверхности и загрязняют тропосферу [3, 6]. Исследованиями [6] показано, что их содержание в дождевой воде в летний сезон изменяется от 0,015 до 0,20 мг/л, а рН, соответственно от 6,96 до 7,41 ед. рН.

В работе [11] отмечено, что наиболее высокие уровни загрязнения воздуха аэрозолями происходят при континентальных – восточных (В) и северо-восточных (СВ) ветрах, которые преобладают над территорией Гераклеийского полуострова в зимний сезон, когда дождевая вода характеризуется величиной рН ниже 6,3 [6, 14].

Систематический контроль величины рН дождевой воды позволяет изучать проблемы экологии атмосферы, связанные с разнообразными источниками ее загрязнения.

Цель работы – изучить диапазон изменения водородного показателя дождевых выпадений на Гераклеийском полуострове и некоторые факторы, определяющие особенности его многолетней и сезонной изменчивости.

**Материалы и методы.** Материалом для изучения величины рН дождевых выпадений послужили пробы, отобранные на территории Морской гидрометеорологической станции «Севастополь» (МГС), расположенной на северном побережье Гераклеийского полуострова. Пробы дождевой воды собирались через пластмассовую воронку в стеклянный осадкосборник, который устанавливался только на период выпадения дождей на штативе высотой 2 м от подстилающей поверхности [15]. Отбор проб проводили в течение всего времени выпадения осадков или дробно – в начале дождя (первые 5–10 мин) и при окончании дождевых выпадений. При отборе проб измерялась температура дождевой воды ( $T_{in\ situ}$ ).

Водородный показатель дождевой воды определяли электрометрическим методом на портативном рН-метре

рН-150МИ. Перед определением рН-метр калибровали при температуре 20°C по стандартным буферным растворам с рН = 4,01, рН = 6,86 и рН = 9,18. Точность определения не превышает  $\pm 0,010 - 0,015$  ед. рН.

Определению величина рН не мешает окраска исследуемой воды, ее мутность, присутствие окислителей, но она зависит от температуры раствора. Полученные значения температуры при отборе проб (in situ) использовались при пересчете результатов измерения рН, проведенных при стандартных 20°C по формуле [16]

$$pH_{in\ situ} = pH_{20} + 0,0118 (20 - T_{in\ situ}), (1)$$

где  $pH_{20}$  – измеренное значение рН при температуре 20°C;  $T_{in\ situ}$  – температура пробы дождевой воды при отборе.

*Обработка данных.* При обработке полученных данных рассчитывались средние значения рН для каждого года и сезона. Для определения межгодовой и межсезонных тенденций изменения рН рассчитывались параметры линейных трендов методом наименьших квадратов (МНК) [17].

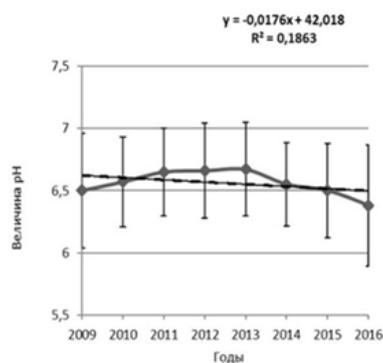
Систематический отбор проб и определение водородного показателя дождевых выпадений проводилось в течение 2009–2016 гг. Исследовалась изменчивость рН экстремальных дождевых выпадений в сентябре-октябре 2020 г., когда, после двухмесячного засушливого периода наблюдались продолжительные дождевые выпадения. За период многолетних исследований проведено определение водородного показателя в 530 пробах дождевой воды. Из них 20 проб некоторых дождей в 2012, 2013 и 2020 гг. отбирались дробно.

**Результаты и их обсуждение.** Обработка и анализ данных, полученных из базы данных МГС, показал, что за последние 14 лет на Гераклеийском полуострове ежегодно выпадало от 45 до 90 дождей различного типа. Изучение качества дождевой воды по величине рН позволило определить, что в течение го-

да для 63% дождевых выпадений она изменяется от слабокислой до слабощелочной в диапазоне 6,00–7,25 ед. рН и соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 [9].

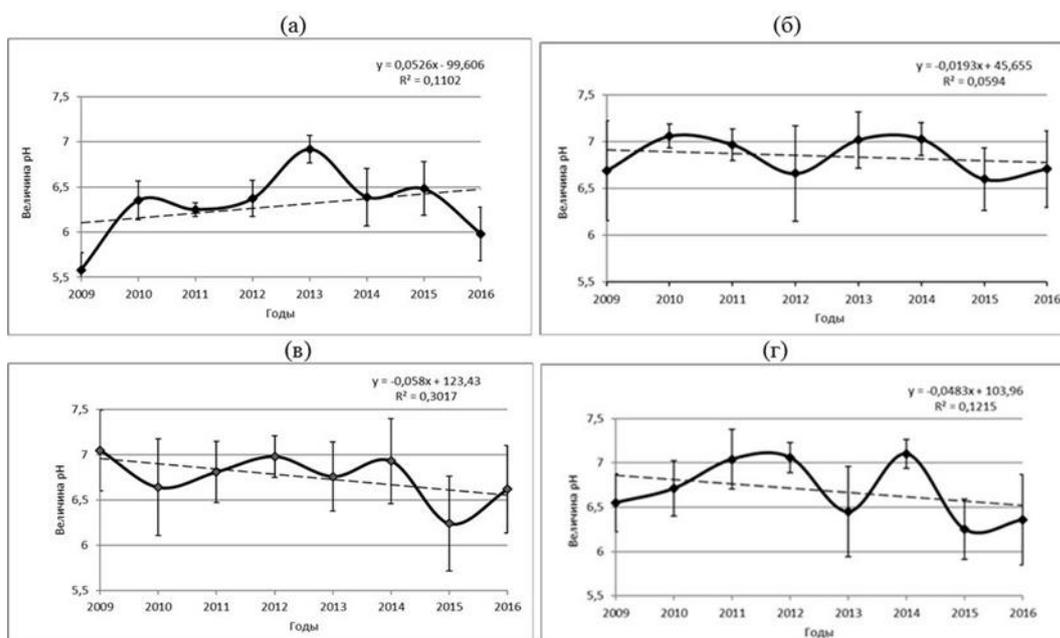
Среднегодовые величины рН дождевой воды характеризовались слабокислыми значениями и в их многолетней динамике, начиная с 2013 г., прослеживается тенденция сдвига в более кислую область (рис. 1).

Результаты расчета среднесезонных значений водородного показателя дождевой воды приведены на рис. 2. Отмечено, что эта величина в весенний, летний и осенний сезоны изменяется в узком диапазоне значений – от 6,30 до 7,15 ед. рН (рис. 2 б, в, г).



**Рис. 1.** Межгодовая изменчивость среднегодовых величин рН дождевых выпадений за период с 2009 по 2016 гг. и уравнение линейного тренда. Вертикальные отрезки – среднее квадратичное отклонение

**Fig. 1.** Interannual variability of the average annual pH of rainfall for heperiod from 2009 to 2016 and the linear trend equation. Vertical segments– standard deviation



**Рис. 2.** Динамика многолетних среднесезонных значений величины рН дождевых выпадений: зима (а), весна (б), лето (в), осень (г) и линейные тренды.

Вертикальные отрезки – среднее квадратичное отклонение

**Fig. 2.** Dynamics of long-term average seasonal values pH of the pH value of rainfall: winter (a), spring (b), summer (c), autumn (d) and linear trends. Vertical segments – standard deviation

В зимний сезон, когда над территорией Гераклеийского полуострова преобладают В и СВ (континентальные) и морские З ветра [6, 11], дождевая вода характеризуется более низкими значениями рН (рис. 2 а). Средние сезонные ве-

личины рН изменяются в диапазоне 5,60–6,85 ед. рН и приближаются к нижней границе допустимых значений рН для питьевой воды (6,00–9,00 ед. рН) по СанПиН 2.1.4.1074-01 [9]. Отмеченная в последние годы тенденция подкисления

дождевой воды, особенно выражена в летний и осенний сезоны при доминировании морских Ю, З, ЮЗ и континентальных СВ ветров (рис. 2 в, г), когда повышается количество дождевых выпа-

дений со значениями величины рН <6,00. Доля таких атмосферных осадков в течение года постепенно увеличивается (табл. 1).

**Таблица 1.** Доля кислых дождей в осадках, выпадавших в течение года, за период 2009–2016 гг.

Измеряемый параметр	Годы							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Количество дождей, рН <6,00, %	8	16	9	12	6	14	24	34

С 2014 г. количество дождей (рН <6,00) возросло до 3–4 в месяц и к 2016 г. составило 34% от выпадавших за год осадков. Аномально кислые дожди (рН < 5,00) чаще всего выпадали в холодный период – февраль, декабрь, март, их доля в годовых осадках составляет 1,2–2,5%.

Фоновый химический состав дождевых капель (надоблачное обогащение) формируется из различных примесей, постоянно присутствующих в мигрирующих слоях атмосферы над морской акваторией и континентальными территориями. А при выпадении различных дождей – кратковременных, продолжительных, ливневых и дождей при грозах – происходит вымывание поллютантов (подоблачное обогащение), которые поступают и накапливаются в нижних слоях тропосферы от различных источников в районе выпадения осадков. На побережье Гераклейского полуострова это многочисленные антропогенные источники – действующие предприятия, судоходство, автотранспорт, сельское хозяйство, сбросы в море неочищенных сточных вод [8], рис. 3.

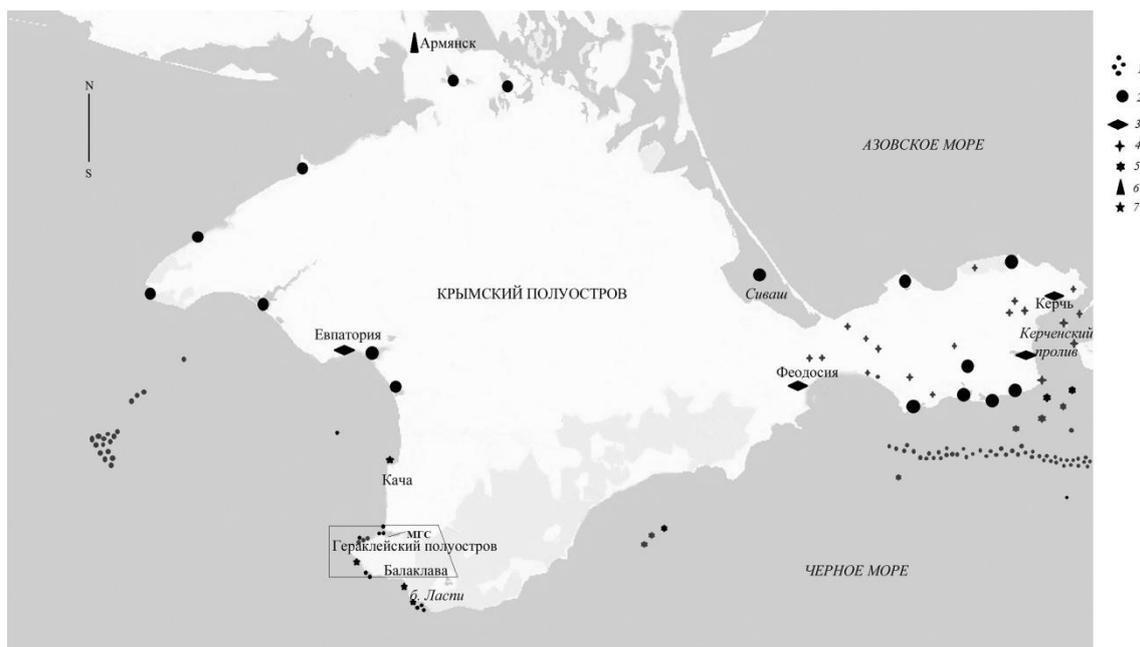
Кроме того, потенциальными источниками загрязнения приземных слоев тропосферы различными химическими соединениями вносят вклад сероводородные грязевые вулканы и озера, многочисленные метановые газовыделения (метановые сипы) у западных, южных и юго-западных берегов Крыма [4], рис. 3. Поступающие от природных и антропогенных источников в нижние слои тропосферы органические и неорганические

поллютанты, под действием физико-химических атмосферных факторов, подвергаются деструкции и окисляются [10, 12, 13]. Образующиеся соединения мигрируют в процессе атмосферной циркуляции, растворяются в дождевых каплях (надоблачное обогащение) и формируют водородный показатель выпадающих дождей.

Атмосферные осадки (дожди, снег) являются основным источником пресной воды, которая используется для хозяйственно-бытовых нужд населением Крымского полуострова. Основные запасы пресной воды юго-западного побережья Крыма собираются в искусственном водоеме объемом 64,2 млн м<sup>3</sup> – Чернореченском водохранилище, которое пополняется притоком подземных вод и небольших рек, водные запасы которых зависят от количества выпадающих дождей [2].

Количество осадков, выпадающих в течение года на Гераклейском полуострове, распределяется неравномерно. Их максимальный объем приходится на осенний сезон, что определяется различными глобальными и региональными климатическими факторами: в первую очередь атмосферной циркуляцией [2, 11].

Систематическое изучение величины рН дождевых выпадений в районе МГС показало ее зависимость от ряда метеорологических факторов: направления атмосферного переноса, типа дождевых выпадений.



**Рис. 3.** Расположение МГС и источники загрязнения тропосферы на Крымском полуострове и его шельфе по [3, 4, 8, 18]: метановые сипы (1); гипергалинные озера (2), сероводородные озера (3), грязевые вулканы (4, 5); комбинат «Крымский титан» (6); сброс неочищенных сточных вод (7)

**Fig. 3.** Location of the Marine Hydrometeorological Station and sources of troposphere pollution in the Crimean peninsula and its shelf according to [3, 4, 8, 18]: methane seeps (1); hyperhaline lakes (2), hydrogen sulfide lakes (3), mud volcanoes (4, 5); combine "Crimean titan" (6); discharge of untreated wastewater (7)

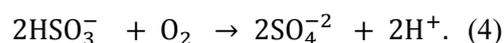
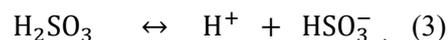
**Влияние направления ветра, несущего осадки, на величину pH дождевой воды.** На территории и шельфе Крымского полуострова существуют многочисленные потенциальные природные источники загрязнения тропосферы – гипергалинные озера (сероводородные, карбонатные, сульфатные), сероводородные вулканы, подводные метановые сипы (рис. 3).

В зимний период при преобладании В, СВ и З ветров, приносящих осадки на Гераклейский полуостров, возможно надоблачное обогащение дождевых капель кислотообразующими соединениями – сернистым газом ( $\text{SO}_2$ ),  $\text{CO}_2$  и хлористым водородом ( $\text{HCl}$ ). Сернистый газ образуется при окислении сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ), который поступает в приземные слои тропосферы от сероводородных озер Чокрак (г. Керчь), Кояшское (г. Феодосия), расположенных в Керченско-Таманской вулканической провинции (рис. 3). В приземных слоях тропосферы

сероводород окисляется кислородом воздуха до сернистого газа



Кроме того,  $\text{SO}_2$  поступает в тропосферу при сгорании каменного угля, нефти, мазута [13]. Он хорошо растворяется в дождевой воде и в окислительных условиях атмосферы образует не только сернистую (реакции 2, 3), но и серную кислоты [10, 13] (реакция 4)



Как показано на рис. 3, на шельфе южного и юго-западного побережья Крымского полуострова, на северо-западном и южном шельфе Гераклейского полуострова, в бухте Ласпи наблюда-

ются струйные выделения  $\text{CH}_4$  от многочисленных метановых сипов [4]. При окислении и трансформации метана образуются  $\text{HCl}$  и  $\text{CO}_2$  [10, 12]. Появление в тропосфере разнообразных кислотообразующих соединений, их перенос ветрами З и В румбов, является основным фактором выпадения на территории МГС более кислых дождей в зимний период, когда их величина рН на 0,60–0,80 ед. рН ниже, чем в другие сезоны (рис. 2).

Кроме того, в 2018–2020 гг. участились выбросы кислотообразующих окислов на комбинате «Крымский титан» (г. Армянск), расположенном на северо-востоке Крыма [18] (рис. 3). Подкисление дождевой воды ниже нормативного уровня [9] оказывает негативное воздей-

ствие на растительность и состав почвы, в атмосферных осадках повышается растворимость токсичных солей тяжелых металлов –  $\text{Si}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Pb}$  [14].

**Влияние типа дождевых выпадений и их продолжительности на водородный показатель дождевой воды.** В дождевых выпадениях при грозах величина рН изменялась от слабокислой до кислой, поскольку грозовые разряды ускоряют образование кислотообразующих окислов азота и серы [10], которые при растворении в дождевых каплях подкисляют дождевую воду. При ливнях, преобладающих на Гераклеийском полуострове осенью и летом, активная реакция дождевой воды, в основном, характеризовалась слабощелочными значениями: 7,25–7,50 (табл. 2).

**Таблица 2.** Вариабельность величины рН в различных типах дождевых выпадений

Дата выпадения дождей	Сезон	Величина рН	
		Ливневые дожди	Дожди при грозе
26.06.2011	Лето	6,54	
14.06.2013	Лето	7,46	
28.10.2014	Осень	7,46	
24.11.2015	Осень	7,25	
18.01.2013 – 20.01.2013	Зима	7,50	
11.06.2014	Лето		6,40
08.08.2015	Лето		6,85
28.10.2012	Осень		6,05
06.02.2014	Зима		5,85

**Таблица 3.** Изменение величины рН дождевой воды в зависимости от типа дождевых выпадений и времени отбора проб

Отбор проб	Сезон и тип осадков	Величина рН
	04.07.2013, ливень	
Начало дождя		7,25
Окончание		6,82
	01.01.2012 – 02.01.2012, продолжительный дождь	
Начало дождя		7,70
Окончание		7,35
	28.08.2012 – 29.08.2012, продолжительные осадки	
Первый кратковременный дождь		6,90
Второй дождь		6,75
Третий дождь		6,50

Согласно [10] при ливнях образуются более крупные дождевые капли, что способствует растворению большего количества поллютантов, накопившихся в тропосфере над территорией Гераклейского полуострова от многочисленных источников загрязнения [3, 6, 8].

Исследования показали, что первые порции дождя, вымывающие загрязнения, накопившиеся в нижних слоях городской тропосферы, характеризуются более высокими значениями рН, чем

пробы, отобранные во время его окончания (табл. 3).

В 2020 г. в течение двух месяцев (август–сентябрь) на Гераклейском полуострове наблюдалась засушливая погода, дожди отсутствовали. С конца сентября началось выпадение осадков, представленных продолжительными, в течение двух-трех дней, дождями, ливнями и дождями при грозах. Динамика величины рН в последовательно выпадавших дождях с 30.09.2020 до конца октября, приведена в табл. 4.

**Таблица 4.** Изменение величины рН дождевых выпадений после продолжительного засушливого периода

Отбор проб	Дата выпадения и тип осадков	Величина рН
	30.09.2020, ливень	
Начало дождя		8,87
Окончание		8,34
	08.10.2020 – 09.10.2020, продолжительный дождь	
Начало дождя		8,15
Окончание		7,77
	22.10.2020, дождь при грозе	
Начало дождя		7,86
Окончание дождя		7,30
	28.10.2020 – 30.10.2020 продолжительные осадки	
Начало дождя		7,93
Второй день		7,25
Окончание дождя		6,87

Первые дождевые выпадения, обогащенные накопившимися в городской тропосфере поллютантами щелочной природы, характеризовались значениями рН >8,00. Величина рН последующих дождей постепенно снижалась до слабощелочной, и, только к 30.10.2020, когда приземные слои тропосферы города очистились, она приобрела слабокислые значения (рН 6,87).

Кроме рассмотренных метеорологических, атмосферных фотохимических факторов и антропогенного загрязнения приземных слоев городской тропосферы на водородный показатель дождевой воды оказывает влияние биотический фактор – развивающиеся в дождевой воде

фотосинтезирующие микроорганизмы [6]. Глобальные климатические изменения, эксплуатационная нагрузка и антропогенное загрязнение водных ресурсов способствуют всплескам размножения микроводорослей и цианобактерий в прибрежных морских акваториях, озерах и лиманах Крыма [19]. В некоторых пробах дождей, приносимых как морскими, так и континентальными ветрами, встречались популяции микроводорослей и цианобактерий. При фотосинтезе популяций с высокой плотностью клеток, особенно представителей семейства *Cyanoprocarota*, величина рН дождевой воды изменялась до слабощелочных (рН 7,61) и щелочных значений (рН 8,28)

[20]. Загрязнение дождевой воды, пополняющей реки и водохранилища Крыма, представителями семейств Chlorophyta и Cyanoprocarayota и их цветение отрицательно влияет на качество воды особенно при ее использовании без необходимой обработки [19] в сельскохозяйственных целях, животноводческом комплексе, в прудах и озерах для разведения рыбы.

**Заключение.** На Гераклейском полуострове величина рН дождевой воды изменяется в широком диапазоне – от кислой (рН 5,50), слабокислой (рН 6,20), нейтральной и слабощелочной (рН 7,00–7,72) до щелочной рН (8,00–8,87).

Показано что, рН дождевой воды, отобранной в начале дождя, вымывающего загрязнения, накопившиеся в приземных слоях тропосферы прибрежной зоны Гераклейского полуострова, характеризуются более щелочными значениями от 8,87 до 7,25 ед. рН, чем пробы, отобранные во время его окончания. Одним из потенциальных источников поступления соединений щелочной природы в тропосферу города является сброс неочищенных сточных вод в его прибрежные акватории и бухты.

В последние десятилетия увеличивается количество дождей с величиной рН < 6,00, особенно в летний и осенний сезоны. Потенциальными источниками обогащения приземных слоев тропосферы Гераклейского полуострова кислотообразующими окислами являются природные факторы – многочисленные метановые сипы (источники CO<sub>2</sub>) на его шельфе и в бухтах. В зимний сезон при СВ ветрах, несущих осадки, на их надоблачное обогащение влияют сероводородные озера и грязевые вулканы на Керченском полуострове и его шельфе. Отмеченные изменения негативно влияют на качество дождевых выпадений – основного источника воды для сельскохозяйственных и бытовых нужд на Гераклейском полуострове.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института природно-технических систем (№ государственной регистрации 121122300072-3).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сигора Г.А., Хоменко Т.Ю., Ничкова Л.А. Разработка методического обеспечения экологического мониторинга подземных вод севастопольского региона // Системы контроля окружающей среды. 2020. Вып. 2(40). С. 5–12. DOI:10.33075/2220-5861-2020-2-5-12.
2. Лубков А.С., Воскресенская Е.Н. Метод нейтронных сетей для климатического прогнозирования водности Чернореченского водохранилища // Системы контроля окружающей среды. 2021. Вып. 2 (44). С. 16–28. DOI:10.33075/2220-5861-2021-2-16-28.
3. Вареник А.Н. Неорганический азот в атмосферных осадках города Севастополя: Источники, изменчивость и влияние на поверхностный слой прибрежных районов Черного моря // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Т. 28, № 6. С. 75–84. DOI:10.21513/0207-2564-2017-6-75-84
4. Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море – средообразующая и экологическая роль. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ «Гидрофизика», 2011. 405 с.
5. Pham C.N., Gorbunov R., Lapchenko V., Gorbunova T., Tabunshchik V. Biogenic Elements of Atmospheric Fallout and Impact of Sub-Mediterranean Forest Communities of Downy Oaks on Changes in the Chemical Composition of Atmospheric Precipitation // Forests. 2023. Vol. 14, iss. 2. Art. no. 294 (15p.). <https://doi.org/10.3390/f14020294>.
6. Смирнова Л.Л., Катунина Е.В. Сезонные и межгодовые флуктуации содержания анионных детергентов и биоразнообразия микроводорослей в атмосферных осадках на побережье Севастопольских бухт (Крым, Черное море) // Системы контроля окружающей среды. 2016. Вып. 3(23). С. 110–118.
7. Пекарникова М.Е., Полонский А.Б. Антропогенные изменения климата и международно-правовая деятельность по смягчению их последствий. Часть 1. От Рамочной конвенции ООН до Парижского соглашения // Государство и право. 2021. № 4. С. 104–113. DOI: 10.31857/S1002694520012719

8. *Источники загрязнения прибрежных вод Севастопольского района / В.М. Грузинов, Н.Н. Дьяков, И.В. Мезенцева и др. // Океанология. 2019. Т. 59, № 4. С. 579–590.* <https://doi.org/10.31857/S00301574594579-590>
9. *СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества (с изменениями от 7 апреля 2009 г., 25 февраля 2010 г.). М.: Минздрав России, 2002.*
10. *Бримблкумб П. Состав и химия атмосферы: пер. с англ. М.: Мир, 1988. 351 с.*
11. *Фоновые характеристики гранулометрического состава аэрозолей г. Севастополя / Н.Н. Дьяков, Ю.А. Мальченко, С.А. Боброва и др. // Научно-исследовательские публикации. Воронеж: ООО «Вэлборн», 2016. № 3 (35). С. 5–13.*
12. *Роль метана в изменении климата / под ред. д. х. н., проф. А.Г. Ишкова. НИИПЭ, Неправительственный экологический фонд им. В.И. Вернадского; Российская экологическая акад. 2018. 135 с. [Эл. ресурс] // Режим доступа: [//www.vernadsky.ru/files/Publishing/rol\\_metana\\_v\\_izmenenii\\_klimata.pdf](http://www.vernadsky.ru/files/Publishing/rol_metana_v_izmenenii_klimata.pdf).*
13. *Лавриненко Р.Ф. Баланс сульфатов в атмосферных осадках. Мониторинг фонового загрязнения атмосферы / под ред. к. физ.-мат. н. А.С. Зайцева // Труды ГГО. 1979. Вып. 418. С. 34–42.*
14. *Smyrnova L., Katunina L., Rjabinin A., Anninskaja I. The impact of atmospheric precipitation (rainfalls) on the sea-surface microlayer in the Sevastopol coastal waters (Crimea, The Black Sea) Ecologica Montenegrina, 2017. Vol. 14. P. 30–38. Available at: [www.biotaxa.org/em](http://www.biotaxa.org/em)*
15. *РД 52.04.186 – 89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Госкомгидромет, 199. 693 с.*
16. *Рябинин А.И., Шубаева С.А. Физико-химические методы в гидрохимии. Севастополь: Экокси-Гидрофизика, 2002. С. 145–151.*
17. *Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Т. 2. М.: Юнити-Дана, 2001. 432 с.*
18. *Кислотонакопитель завода «Крымский титан», экологический кризис в северном Крыму (Армянск) и возможные пути его решения / Н.Н. Дьяков, Ю.А. Мальченко, А.Е. Липченко и др. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. Вып. 1. С. 83–95.*
19. *Гольдин Е.Б. Массовые виды цианобактерий и микроводорослей в экосистемах: межвидовые взаимоотношения и ко-эволюционный процесс // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2012. Вып. 7. С. 114–125.*
20. *Смирнова Л.Л. Цианобактерии в атмосферных осадках на юго-западном побережье Крыма: биоразнообразие, пути миграции // Вестник Башкирского Гос. пед. универ. им. М. Акмуллы. 2022. № 2 (63). Спец. вып. С. 129–13.*

#### MONITORING OF THE RAINFALL HYDROGEN INDEX ON THE WESTERN COAST OF CRIMEA (HERACLEA PENINSULA)

L.L. Smyrnova<sup>1</sup>, E.V. Katunina<sup>2</sup>, O.S. Sizova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural & Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

<sup>2</sup>Sevastopol branch of the State Oceanographic Institute named after N.N. Zubova, RF, Sevastopol, Sovetskaj St., 61

The dependence of the rainfall pH value on the Heraclea Peninsula on its duration and the direction of atmospheric transport is studied. Studies conducted from 2009 to 2016 reveal that since 2013 there has been a tendency of acidification of rainfall (pH < 7.00), which is especially pronounced in the summer and autumn seasons. It is noted that after dry periods, the pH of the first portions of rains washing out accumulated pollutants from the lower layers of the troposphere is characterized by alkaline values (7.25 < pH

< 8.87). Potential sources of pollution of the troposphere of the Crimean peninsula with acid-forming oxides, ammonium compounds, detergents that affect the formation of the pH value of rainwater are considered.

**Keywords:** Heraclea Peninsula, rainfall, pH value, sources of troposphere pollution,

### REFERENCES

1. Sigora G.A., Khomenko T.Yu., and Nichkova L.A. Razrabotka metodicheskogo obespecheniya ekologicheskogo monitoringa podzemnykh vod sevastopol'skogo regiona (Development of methodological support of environmental monitoring of ground waters of the Sevastopol region). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2020, Vol. 2 (40), pp. 5–12. DOI:10.33075/2220-5861-2020-2-5-12.
2. Lubkov A.S. and Voskresenskaya E.N. Metod neyronnykh setey dlya klimaticheskogo prognozirovaniya vodnosity Chernorechenskogo vodokhranilishcha (Neural network method for climate forecasting water content of the Chernorechensk reservoir). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2021, Vol. 2 (44), pp. 16–28. DOI:10.33075/2220-5861-2021-2-16-28.
3. Varenik A.V. Neorganicheskiy azot v atmosferykh osadkakh goroda Sevastopolya: istochniki, izmenchivost i vliyaniy na poverkhnostnyy sloy pribrezhnykh rayonov Chernogo morya (Inorganic nitrogen in the atmospheric precipitations in Sevastopol: sources, variations and influence on the surface layer of the coastal regions of the Black sea). *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 2017, Vol. 28, No. 6, pp. 75–84. DOI:10.21513/0207-2564-2017-6-75-84.
4. Egorov V.N., Artemov Yu.G., and Gulin S.B. Metanoviye sipy v Chernom more – sredobrazuyushchaya i ekologicheskaya rol' (Methane seeps in the Black sea: environment-forming and ecological role), Sevastopol: NPC «EKOSI "Gidrofizika"», 2011, 405 p.
5. Pham C.N., Gorbunov R., Lapchenko V., Gorbunova T., and Tabunshchik V. Biogenic Elements of Atmospheric Fallout and Impact of Sub-Mediterranean Forest Communities of Downy Oaks on Changes in the Chemical Composition of Atmospheric Precipitation. *Forests*, 2023, Vol. 14, iss. 2. Art. no. 294 (15 p.). DOI:10.3390/f14020294.
6. Smyrnova L.L. and Katunina E.V. Sezonnii i mezhdunodovnie fluktyuatsii sodержaniya anionnykh detergentov i bioraznoobraziya microvodorosley v atmosferykh osadkakh na poberezhie Sevastopolskikh bjukht (Krim, Chernoe more) (Seasonal and interannual fluctuations in the content of anionic detergents and microalgae biodiversity in atmospheric precipitation on the coast of Sevastopol bays (Crimea, Black Sea). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2016, Vol. 3 (23), pp. 110–118.
7. Pekarnikova M.E. and Polonskiy A.B. Antropogenniye izmeneniya klimata i mezhdunarodno-pravovaya deyatelnost' po smyagcheniyu ikh posledstviy. Chast 1. Ot Ramochnoy konventsii OON do Parizhskogo soglasheniya (Antropogenic climate change and international-juridical activity on climate mitigation. Part 1. From the UN Framework convention to the Paris agreement). *State and Law*, 2021, No. 4, pp. 104–113. DOI:10.31857/S102694520012719.
8. Gruzinov V.M., D'yakov N.N., Mezentseva I.V., Mal'chenko Yu.A., Zhokhova N.V., and Korshenko A.N. Istochniki zagryazneniya pribrezhnykh vod Sevastopol'skogo rayona (Sources of pollution of coastal waters of the Sevastopol district). *Oceanology*, 2019, Vol. 59, No. 4, pp. 579–590. DOI:10.31857/S0030-1574594579-590.
9. SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva (Hygienic requirements for the water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control). Moscow: Minzdrav Rossii, 2002.
10. Brinklumb P. Sostav i khimiya atmosfery (Air. Composition and chemistry). Moscow: Mir, 1988, 351 p.
11. D'yakov N.N., Mal'chenko Yu.A., Bobrova S.A., Ryabinin A.I., Lipchenko A.E., Klimenko N.P., and Taranov V.V. Fonovye kharakteristiki granulometricheskogo sostava aerorozley g. Sevastopolya (Baseline characteristics of the particle size distribution of aerosols Sevastopol). *Nauchno-issledovatel'skiye publikatsii*, Voronezh: OOO "Welborn", 2016, No. 3 (35), pp. 5–13.
12. Rol' metana v izmenenii klimata (The role of methane in climate change). NIIPE, Nepravil'stvennyy ekol. fond im. V.I. Vernadskogo; Rossiyskaya ekol. akad., 2018, 135 p. [www.vernadsky.ru/files/Publishing/rol\\_metana\\_v\\_izmenenii\\_klimata.pdf](http://www.vernadsky.ru/files/Publishing/rol_metana_v_izmenenii_klimata.pdf).
13. Lavrinenko R.F. Balans sulfatov v atmosferykh osadkakh. Monitoring fonovogo zagryazneniya atmosfery (The balance of sulfates in atmospheric precipitation. Monitoring of background atmospheric pollution). *Trudy GGO*, 1979, Iss. 418, pp. 34–42.

14. *Smyrnova L., Katunina L., Rjabinin A., and Anninskaja I.* The impact of atmospheric precipitation (rainfalls) on the sea-surface microlayer in the Sevastopol coastal waters (Crimea, The Black Sea). *Ecologica Montenegrina*, 2017, Vol. 14, pp. 30–38. Available at: [www.biotaxa.org/em](http://www.biotaxa.org/em).
15. RD 52.04.186 – 89. Rukovodstvo po kontrolyu za gryazneniya atmosfery (Guidelines for air pollution control). Moscow: Goskomgidromet, 1991, 693 p.
16. *Ryabinin A.I., and Shibaeva S.A.* Fiziko-khimicheskie metody v gidrokhimii (Physico-chemical methods in hydrochemistry). Sevastopol: Ekosi-Gidrofizika, 2002, pp. 145–151.
17. *Ayvazyan S.A.* Prikladnaya statistika. Osnovy ekonometriki (Applied statistics. Fundamentals of econometrics). Moscow: Yuniti-Dana, 2001, Vol. 2, 432 p.
18. *D'yakov N.N., Mal'chenko Yu.A., Lipchenko A.E., Timoshenko T.Yu., Zhilyaev D.A., and Matveeva I.S.* Kislotonakopitel zavoda “Krymskiy titan”, ekologicheskiy krizis v severnom Krymu (Armyansk) i vozmozhnye puti ego resheniya (“Crimean titanium” acid plant, ecological crisis in the northern Crimea (Armyansk) and possible ways of its decision). *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, 2019, Vol. 1, pp. 83–95.
19. *Gol'din E.B.* Massovye vidy tsianobakteriy i mikrovdorosley v ekosistemakh: mezhvidovye vzaimootnosheniya i ko-evolutsionnyy protsess (Mass species of cyanobacteria and microalgae in ecosystems: interspecific interactions and co-evolutionary process). *Ekosystemy, ikh optimizatsiya i okhrana*, 2012, Vol. 7, pp. 114–125.
20. *Smirnova L.L.* Tsianobakterii v atmosferykh osadkakh na ugo-zapadnom poberezhye Kryma: bioraznoobraziye, puti migratsii (Cyanobacteria in atmospheric precipitation on the southwestern coast of Crimea: biodiversity, migration routes). *Vestnik Bashkirskogo Gos. ped. Univer. im. M. Akmully*, 2022, No. 2 (63), pp. 129–135.