

УДК 632.15:632.12(470.46)

ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ АСТРАХАНСКОГО ГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА НА КАЧЕСТВО ПОЧВ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

© 2022 г. А. М. Гребенников

*Федеральный исследовательский центр “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”
119017 Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Россия**E-mail: great1956@gmail.com*

Поступила в редакцию 01.12.2021 г.

После доработки 03.02.2022 г.

Принята к публикации 15.03.2022 г.

Изучено влияние серосодержащих выбросов (диоксида серы, сероводорода и элементной серы) Астраханского газового комплекса (АГК) на почвенный покров (почвенные образования на переветренных песках и соровые солончаки) в процессе почвенного обследования. На фиксированных глубинах 0–5, 20–25, 35–40 и 55–60 см почвы отбирали образцы без видимых нарушений и включений элементной серы, удаленных от границ АГК на 50–100 м; в нарушенных почвах с включениями элементной серы или ее застывших расплавов на участках, примыкающих к границам АГК с местами складирования элементной серы; в почвах на участках, сходных по почвенному покрову с территорией, прилегающей к АГК, и удаленных от нее на 7 и 30 км. В отобранных образцах определяли pH_{H_2O} , содержание сульфидов, количество плотного остатка в водной вытяжке, содержание в ней бикарбонатов, хлоридов и сульфатов. Установлено, что воздействие серосодержащих выбросов АГК на прилегающие почвы выразилось в их значительном подкислении и увеличении содержания сульфатов вплоть до засоления, что снижало качество почв. Факторами, усиливающими эти процессы, были нарушенность почв, содержание в них включений серы и наличие слоя застывшего серного расплава.

Ключевые слова: серосодержащие выбросы, подкисление почв, сульфатное засоление, почвенные образования, соровые солончаки.

DOI: 10.31857/S0002188122060072

ВВЕДЕНИЕ

От промышленных предприятий в окружающую среду соединения серы в основном могут поступать в виде сернистого ангидрида, сероводорода и элементной серы. Сернистый ангидрид, поступая в атмосферу, достаточно быстро трансформируется до серной кислоты, выпадающей на поверхность почвы с осадками или в результате сухого осаждения. Сероводород в атмосфере в основном окисляется до сернистого ангидрида, и дальнейшая трансформация этого вещества происходит в соответствии с вышеописанной схемой. Однако при этом, учитывая, что время жизни сернистого ангидрида и сероводорода в атмосфере составляет ≈ 4 сут [1], а молекулярная масса этих веществ превышает среднюю массу воздуха, при определенных погодных условиях и большом объеме выбросов эти газы могут концентрироваться в приземном слое воздуха и оказать существенное негативное влияние на живые организмы. Прямое действие двуокиси серы приводит к отмиранию отдельных органов растений, ухудше-

нию роста и урожайности, а также качества сельскохозяйственной продукции. Наиболее сильно сернистый ангидрид воздействует на процессы в листьях растений. При этом может снижаться устойчивость растений к засухе, заморозкам и другим неблагоприятным факторам. Различают 5 степеней повреждения растений диоксидом серы в зависимости от его концентрации и продолжительности поглощения листьями: отсутствие повреждений, скрытые, хронические, острые и катастрофические. Активации повреждаемости растений диоксидом серы способствует повышенная температура, влажность воздуха и солнечная радиация, т.е. факторы, повышающие газообмен и поглощение токсичных веществ. При пониженной освещенности и ночью повреждаемость растений уменьшается. Особенно сильно от диоксида серы страдают хвойные породы: пихта, ель, сосна обыкновенная, лиственница и др. [2]. Воздействие диоксида серы в концентрациях больше ПДК может вызвать у человека и животных нарушение функций дыхания и существенное увеличе-

ние заболеваемости различными болезнями дыхательных путей, отмечено действие на слизистые оболочки [3]. Сернистый ангидрит является более токсичным веществом для растений по сравнению с животными и человеком [4]. Например, допустимая максимально-разовая концентрация SO_2 для растений оказалась равной 0.02 мг/м^3 , для животных и человека – 0.05 мг/м^3 [2].

В больших концентрациях сероводород вызывает повреждения листьев, дефолиацию, угнетение роста, что связано с ингибированием цитохром-оксидазы [5]. Однако в малых дозах сероводород способен заметно ускорить рост растений [6]. Содержание во вдыхаемом воздухе сероводорода в количестве 1 мг/л может вызвать быструю смерть человека и животного, а длительное воздействие незначительной его примеси вызывает хроническое отравление, проявляющееся общей слабостью, нарушениями пищеварения, воспалением дыхательных путей [7]. Для растений, по сравнению с человеком и животными, сероводород является менее токсичным веществом [4].

Помимо прямого диоксид серы и сероводород могут оказывать и косвенное воздействие на живые организмы через почву. Накопление этих веществ и продуктов их трансформации в почве происходит в результате сухого осаждения диоксида серы и сероводорода и их поступления на почву с осадками. Это может приводить к уменьшению почвенного плодородия, засолению почв, гибели полезной микрофлоры, нарушению роста, отравлению корневых систем и нарушению минерального питания [8]. В зависимости от величины окислительно-восстановительного потенциала рассматриваемые газы трансформируются в сульфаты в аэробных условиях и в сульфиды при недостатке воздуха в почве. При этом отмечено подкисление почв. Часть соединений серы используется при формировании органического вещества.

Элементарная сера может распространяться на близлежащую территорию от мест ее производства и хранения главным образом в виде тонкодисперсного порошка. Иногда в почвах могут создаваться условия для образования элементарной серы из сернистых соединений. Согласно расчетным диаграммам Пурбе, в зависимости от pH почвы элементарная сера может быть устойчивой в определенном интервале окислительно-восстановительного потенциала. При показателях, меньших нижней границы этого интервала, элементарная сера начинает переходить в сульфиды, при величинах, больших верхней границы, – в сульфаты [9].

Роль серы в жизни растений трудно переоценить. По физиологическому значению в жизни растений среди элементов минерального питания сера занимает 3-е место после азота и фосфора [10]. Сера входит в состав аминокислот цистина, цистеина, метионина и всех без исключения запасных и конституционных белков. Сера в растительном организме выполняет роль регулятора определенного уровня окислительно-восстановительного потенциала. Велика роль серы в таких важнейших процессах в жизни растений, как дыхание, фотосинтез и первичная ассимиляция азота, а также в образовании растительных масел, ферментов, гормонов, антибиотиков и ряда макроэргических компонентов. Сера повышает устойчивость растений к засухе, высоким и низким температурам и улучшает использование растением основных элементов питания. Дефицит серы тормозит восстановление и ассимиляцию азота растениями [10].

Сера также необходима микроорганизмам и животным. В микробной клетке на ее долю приходится $\approx 1\%$ от сухого вещества биомассы [11]. Поступление серы в организм животных происходит в основном с растительными кормами. Сера содержится практически во всех органах животных. По концентрации в них серы они располагаются в примерном убывающем порядке: шерсть – хрящи – печень – кости – мышцы – кожа – кровь [12]. Сера, входя в состав аминокислот цистеина, цистина и метионина, участвует в тех функциях, которые выполняют эти аминокислоты как составные части тканевых протеинов и различных гормонов и витаминов [13]. Дефицит серы у животных вызывает болезни кожи, отеки. Симптомы дефицита серы у жвачных животных можно наблюдать только при длительном скормливании животным синтетических продуктов без серы или очень бедных серой. При этом животные теряют аппетит, выпадает шерсть, отмечены обильное слюноотделение, слезотечение. Отсутствие или дефицит серы в рационе птицы и свиней отрицательно сказываются на росте молодняка и снижают продуктивность взрослых животных. Нежелателен также и избыток неорганической серы. У свиней и птицы наблюдается задержка роста, заболевание рахитом, гастроэнтеритом [14].

Таким образом, увеличение концентрации сульфат-иона в почве до определенного уровня оказывает позитивное влияние на растения, а также на микроорганизмы и животных. Следует также ожидать, что при дальнейшем увеличении количества сульфат-иона в почве можно достигнуть такой его концентрации, превышение которой приведет к негативному влиянию сульфатов

на растения и другие живые организмы. Однако нормативов на содержание сульфатов в почве до настоящего времени не разработано. Существующие величины ПДК для элементной серы и серной кислоты составляют 160 мг серы/кг почвы [15], но применение этого норматива к содержанию сульфатов было бы не корректным, т.к. по воздействию на почву эти вещества нельзя приравнять к серноокислым солям. По той же причине ПДК для сероводорода, равная 0.4 мг серы/кг почвы [15] следует считать не приемлемой для оценки уровня содержания сульфидов в почве. Негативное влияние сульфат-иона на растения, абиотическую и биотическую часть почвы может проявляться при очень высоком его содержании, вызывающем засоление почвы, которое является одним из негативных показателей качества почв [16]. Пороговый показатель содержания солей, начиная с которого они могут оказывать негативное влияние на почву и растительность, зависит от химизма засоления. Существуют 5 типов химизма засоления почв с участием сульфатов, характеризующихся следующими порогами токсичности. Сульфатный, сульфатно-содовый и содово-сульфатный типы засоления имеют пороговую величину, равную 0.15% (1500 мг/кг почвы), сульфатно-хлоридный и хлоридно-сульфатный типы – соответственно 0.05–0.10% (500–1000 мг/кг почвы) [17]. До указанных уровней содержания солей в зависимости от химизма засоления почва не считается засоленной и не нуждается в проведении специальных мелиоративных мероприятий, соли в таком количестве не оказывают негативного влияния на почвы и растительность, а продукция сельского хозяйства, выращенная на таких почвах, не считается экологически опасной для здоровья человека.

Цель работы – оценка влияния серосодержащих выбросов Астраханского газового комплекса (АГК) на качество почв прилегающей территории.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Территории района исследования расположена в пределах песчаного массива Батпайсагыр. Мощность мелкозернистых светло-желтых песчаных отложений варьировала в пределах нескольких метров [18]. Абсолютными доминантами в почвенном покрове района исследования являются примитивные песчаные почвы (почвенные образования на перевеянных песках). Эти образования приурочены к подвижным, слабо- и полужакрепленным пескам и представлены как самостоятельными контурами, так и комплексами с соровыми солончаками, занимающими понижения рельефа с близким залеганием сильно

минерализованных почвенно-грунтовых вод, которые часто вскрываются на глубине 0.5–1.0 м, а иногда выходят на поверхность. Наиболее крупные из соровых понижений представляют собой пологосклонные котловины соленых озер, пересыхающих в жаркое время года. На примыкающих к району исследования территориях встречаются бурые полупустынные почвы как отдельными выделами, так и в комплексе с полупустынными солончакми, примитивными песчаными и аллювиальными луговыми почвами [18].

Профиль исследованных почв (почвенных образований на перевеянных песках и соровых солончаков) очень слабо дифференцирован на генетические горизонты. На поверхности почвенных образований на перевеянных песках педологически была выражена маломощная серая пленка (1–3 мм). Остальная толща на всю мощность была представлена однородным желтым песком. Поверхность сорового солончака была покрыта иногда влажной коркой солей мощностью 1.0–3.0 см. Ниже располагалась глееватая с заметным запахом сероводорода, неоднородно окрашенная, буро-сизая толща с ржавыми пятнами, которая с глубиной сменялась в сильной степени оглеенным песком, издающим сильный запах сероводорода.

Для оценки влияния серосодержащих выбросов АГК на почвенный покров в сентябре 2009 г. проводили почвенное обследование, в процессе которого на фиксированных глубинах 0–5, 20–25, 35–40 и 55–60 см отбирали образцы в местах, удаленных от границ АГК на 50–100 м в почвах без видимых нарушений и включений элементной серы. На тех же глубинах отбирали образцы в нарушенных почвах с включениями элементной серы или ее застывших расплавов на участках, примыкающих к границам АГК с местами складирования элементной серы. На указанных глубинах отбирали образцы на участках, сходных по почвенному покрову с территорией, прилегающей к АГК и удаленных от нее на 7 и 30 км. Участок, отстоящий от АГК на 30 км был взят в качестве фонового, поскольку при таком удалении значимое влияние на него серных выбросов этого предприятия было исключено.

В отобранных образцах определяли величину pH_{H_2O} , содержание сульфидов титриметрическим методом, количество плотного остатка в водной вытяжке, содержание в ней бикарбонатов, хлоридов и сульфатов согласно методикам [19–22].

Выводы о влиянии веществ, источником выбросов которых был АГК, были сделаны на основании сопоставления свойств почв фонового участка с почвами и грунтами, расположенными на территории, прилегающей к комплексу. Для

оценки достоверности различий между сравниваемыми почвами по уровню исследованных свойств использовали непараметрический метод Краскела–Валлиса [23], t -критерий Стьюдента для случая неравных дисперсий сравниваемых последовательностей и F -критерий Фишера. Использование этих критериев позволило с позиций 3-х различных подходов оценить степень различия между сравниваемыми последовательностями величин. При этом считали, что различия между последовательностями исследуемого свойства существуют, если это подтверждается применением не менее чем 2-х критериев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено (табл. 1), что в ненарушенных почвах, не содержащих видимых включений элементной серы и расположенных в местах, удаленных от границ АГК на расстояние 50–100 м, в пределах верхних 5 см как в почвенных образованиях на перевейанных песках, так и в солончаках отмечена очень сильноокислая реакция (здесь и далее градации по реакции почв представлены в соответствии с [24]), тогда как на фоновом участке эти почвы в слое 0–5 см характеризовались среднещелочной реакцией. Такую же реакцию в слое 0–5 см имели аналогичные почвы, удаленные от АГК на расстоянии 7 км. Однако уже на следующей глубине и ниже почвы, расположенные на расстоянии 50–100 м от АГК и на фоновом участке имели примерно одинаковую реакцию, соответствующую сильнощелочному диапазону. Почвы, отстоящие от АГК на расстояние 7 км, характеризовались в слое 20–60 см менее щелочной реакцией по сравнению с почвами, расположенными в 50–100 м от АГК и на фоновом участке, что, по видимому, было связано с различиями, обусловленными природными факторами.

В местах с нарушенными почвами, под разливами застывшей серы и содержащими включения этого вещества (от пыли до небольших кусков) отмечали еще более сильное подкисление. Например, под 40-см толщей застывшей серы, в месте ее аварийного разлива на глубинах 0–40 см реакция почвы была очень сильноокислой. При этом уровень кислотности, характерный для слоя 0–5 см ненарушенных почв, расположенных в 50–100 м от границы АГК, под разливом застывшей серы обнаруживался лишь на глубине 35–40 см. Выше-расположенный слой имел значительно более кислую реакцию (pH_{H_2O} составлял 2.00–2.74 ед.). Ниже по профилю величины pH_{H_2O} обнаруживали тенденцию к возрастанию, но при этом не выходили за рамки диапазона, соответствующего очень кислой реакции среды. Высокой степенью

кислотности обладал слой 0–25 см нарушенных почвенных образований на перевейанных песках, которые содержали серу и находились в 50 м от границы АГК. Кислотность этого слоя была несколько меньше по сравнению с аналогичным слоем, расположенным под серным разливом, и соответствовала pH_{H_2O} , равной 2.75–3.07 ед., но значительно превышала кислотность ненарушенных почв, расположенных в 50–100 м от АГК.

Таким образом, воздействие серных выбросов АГК приводило к подкислению верхнего почвенного слоя мощностью 5 см до уровня очень сильноокислой реакции, тогда как, судя по фоновому участку, до воздействия АГК этот слой обладал среднещелочной реакцией. При этом по реакции почвы на глубине 0–5 см обнаруживали максимально возможные отличия от почв на следующей глубине отбора образцов (20–25 см): реакция почв на верхней глубине была очень сильноокислая, на нижней очень сильно щелочная. Одной из причин такого резкого контраста кислотности можно считать низкую буферность исследованных почв, связанную с их песчаным гранулометрическим составом, низким содержанием гумуса и глинистых частиц. В таких условиях даже относительно небольшие количества кислоты, поступающей в почву, способны очень сильно увеличить ее актуальную кислотность, при этом следует ожидать появления резких различий в величине pH в профиле почв.

Подкисление почв значительно усилилось и распространилось на большую глубину в местах с нарушенными почвами, содержащими включения элементной серы. В местах аварийных разливов серы кислотность почв была еще выше и, хотя как в этих местах, так и в почвах, содержащих включения элементной серы, реакция среды характеризовалась экстремальной градацией — очень сильно кислая, в почвах под застывшим разливом серы кислотность была статистически значимо выше по сравнению с почвами, содержащими включения элементной серы.

Таким образом, выбросы АГК, не сопряженные с нарушением почв и появлением в них включений элементной серы, на территориях, прилегающих к этому предприятию, оказывали сильное подкисляющее воздействие на поверхностный слой почв. Нарушения почв и загрязнение их элементной серой приводили к более серьезному подкислению как в плане возрастания величин кислотности, так и увеличения мощности подкисленного слоя. Однако наибольшее подкисление почв было отмечено под слоем застывшего расплава серы. Из этого следует, что поступление элементной серы в почву было одним из значимых факторов ее подкисления, который

Таблица 1. Средние величины pH_{H_2O} и содержания сульфидов в исследованных почвах (\pm ошибка среднего)

№ п/п*	Места отбора образцов почв	Глубина взятия образцов, см	pH_{H_2O}	Содержание сульфидов
1	Почвенные образования на переветренных песках в 50–100 м от границы АГК	0–5	4.17 ± 0.23	0.50 ± 0.06
		20–25	8.68 ± 0.06	0.54 ± 0.05
		35–40	8.65 ± 0.07	0.48 ± 0.04
		55–60	8.53 ± 0.10	0.56 ± 0.04
2	Соровые солончаки в 50–100 м от окраины АГК	0–5	3.61 ± 1.05	0.33 ± 0.02
		20–25	8.96 ± 0.09	0.42 ± 0.04
		35–40	8.90 ± 0.06	0.38 ± 0.02
		55–60	8.78 ± 0.11	0.35 ± 0.07
3	Разлив застывшей серы (слой мощностью 40 см) на поверхности нарушенных почвенных образований на переветренных песках, расположенных вблизи границы АГК	0–5	2.00 ± 0.07	0.33 ± 0.03
		10–15	2.64 ± 0.05	0.31 ± 0.01
		20–25	2.74 ± 0.18	0.33 ± 0.03
		35–40	4.12 ± 0.21	0.37 ± 0.03
		55–60	4.45 ± 0.31	0.36 ± 0.02
4	Нарушенные почвенные образования на переветренных песках с включениями серы, расположенные в 50 м от границы АГК	0–5	2.87 ± 0.31	0.22 ± 0.03
		10–15	3.07 ± 0.18	0.25 ± 0.03
		20–25	2.75 ± 0.11	0.22 ± 0.04
		35–40	2.95 ± 0.12	0.24 ± 0.06
		55–60	3.75 ± 0.23	0.21 ± 0.02
5	Почвенные образования на переветренных песках (склон сорового понижения в 7 км к западу от АГК)	0–5	8.31 ± 0.09	0.39 ± 0.02
		20–25	8.19 ± 0.08	0.39 ± 0.01
		35–40	8.04 ± 0.03	0.46 ± 0.02
		55–60	7.89 ± 0.04	0.37 ± 0.04
6	Соровый солончак (днище понижения в 7 км к западу от АГК)	0–5	8.37 ± 0.03	0.22 ± 0.01
		20–25	8.34 ± 0.03	0.27 ± 0.02
		35–40	7.99 ± 0.02	0.34 ± 0.02
		55–60	7.81 ± 0.03	0.42 ± 0.03
7	Почвенные образования на переветренных песках (фоновый участок в 30 км по направлению на восток-юго-восток от АГК и в 6 км севернее п. Малый Арал)	0–5	8.27 ± 0.04	0.11 ± 0.01
		20–25	8.51 ± 0.03	0.11 ± 0.01
		35–40	8.59 ± 0.02	0.24 ± 0.05
		55–60	8.69 ± 0.06	0.20 ± 0.02
8	Солончак (фоновый участок в 30 км по направлению на восток-юго-восток от АГК и в 6 км севернее п. Малый Арал)	0–5	8.08 ± 0.05	0.13 ± 0.01
		20–25	8.57 ± 0.01	0.16 ± 0.01
		35–40	8.54 ± 0.03	0.18 ± 0.02
		55–60	8.53 ± 0.03	0.15 ± 0.02

*Нумерация та же в табл. 2.

мог быть значительно усилен при повышении температуры серы, что и наблюдали при поступлении расплава этого вещества на поверхность почвы.

Содержание сульфидов в профиле ненарушенных почв, расположенных в 50–100 м от АГК, не изменялось в рамках какой-либо выраженной тенденции с глубиной. Различия по содержанию этих веществ на исследованных глубинах как в профиле почвенных образований на переветренных песках, так и соровых солончаков, не были

статистически значимыми. При этом в соровых солончаках по сравнению с почвенными образованиями на переветренных песках сульфидов сохранилось меньше, но статистического подтверждения этот факт не получил. В профилях аналогичных почв, удаленных на 7 и 30 км от АГК, в большинстве случаев также не обнаружено отличий по содержанию сульфидов на различных глубинах. Профили нарушенных почвенных образований на переветренных песках, содержащих

включения серы и покрытых застывшим серным расплавом, характеризовались практически одинаковым содержанием сульфидов в пределах исследованных глубин.

Близкое расположение к АГК не приводило к появлению локальных аккумуляций сульфидов в почвенном профиле. С учетом этого и относительной однородности распределения сульфидов по исследованным глубинам в почвах, подверженных воздействию АГК, при проявлении тех же тенденций на фоновых участках, можно заключить, что влияние АГК на содержание сульфидов в почве не было существенным.

В профиле ненарушенных почвенных образований на перевейных песках, расположенных в 50–100 м от АГК, наиболее высоким было содержание сульфатов, значительно меньше содержалось хлоридов и отсутствовали бикарбонаты (табл. 2). Общее содержание солей в слое 0–25 см соответствовало слабой степени засоленности по хлоридно-сульфатному типу, тогда как на глубине 35–40 см почвы не были засоленными. В аналогичных почвах, расположенных в 7 и 30 км от АГК содержалось значительно меньше солей, засоление по исследованному профилю нигде не было отмечено, и в составе солей обнаруживалось небольшое количество бикарбонатов. В солевом профиле солончаков, расположенных в 50–100 м от АГК, абсолютно доминировали сульфаты, которые и определяли химизм и степень засоления этих почв. Рассмотренный профиль был засолен по сульфатному типу и характеризовался очень сильной степенью засоления в слое 0–25 см и сильной степенью – на глубине 35–40 см. По содержанию сульфатов солончаки, удаленные на 50–100 м от АГК, примерно соответствовали солончакам, расположенным в 7 км от комплекса, но при этом солевой состав последних включал значительное количество хлоридов и небольшое содержание бикарбонатов. Степень засоления в слое 0–40 см этих солончаков оценивалась как очень сильная, а на глубине 55–60 см – как сильная по хлоридно-сульфатному типу. Солончак на фоновом участке содержал по профилю значительно меньшее количество сульфатов по сравнению с выше рассмотренными аналогичными почвами. В остальном солевой состав этой почвы был близок к составу солончака, расположенного в 7 км от АГК, но при этом характеризовался более высоким содержанием хлоридов и менее выраженным засолением.

Нарушенные почвенные образования на перевейных песках, содержащие включения серы и покрытые застывшим серным расплавом, содержали намного больше сульфатов по сравнению с

ненарушенными почвенными образованиями, удаленными на 50–100 м от АГК. Например, содержание сульфатов в нарушенных почвах, содержащих включения серы, было в 3.9–4.6 раза больше по сравнению с их количеством на соответствующих глубинах в ненарушенных почвах. Увеличение содержания сульфатов в профиле нарушенных почв, содержащих включения серы, привело к средней степени их засоления по сульфатному типу, выраженному по всему исследованному профилю. Еще более значительными были различия по содержанию сульфатов между нарушенными почвами под застывшими расплавами серы и ненарушенными почвами, удаленными на 50–100 м от АГК. Первые по отношению к последним содержали сульфатов на соответствующих глубинах в 7.6–40.4 раза больше.

Таким образом, серосодержащие выбросы АГК приводили к возрастанию содержания сульфатов в почвах, изменению химизма и увеличению степени засоления, сопряженному с ухудшением качества почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, воздействие серосодержащих выбросов Астраханского газового комплекса (АГК) на прилегающие почвы выразилось в осаждении на поверхность ненарушенных почв серосодержащих газов и, возможно, очень мелких, визуальными методами обнаруживаемых твердых частиц серы, что приводило к сильному подкислению поверхности почвенных образований на перевейных песках и к существенному увеличению содержания в них сульфат-ионов. При этом поверхностный слой с увеличением концентрации сульфатов оказывался более мощным по сравнению с подкисленным слоем, что, по-видимому, было связано с выносом по принципу электронеутральности вниз по профилю сульфатов, образующих водорастворимые соли в соединениях с большинством катионов, встречаемых в почве. Очень низкая буферность почвенных образований на перевейных песках и солончаков приводила к резкому уменьшению величины pH_{H_2O} верхнего слоя почв до уровня очень сильнокислой реакции среды, тогда как pH_{H_2O} нижележащего слоя соответствовала сильнощелочному диапазону как в почвах, расположенных в 50–100 м от АГК, так и на фоновом участке. При этом поверхностный слой на фоновом участке характеризовался среднекислой реакцией. Если почвенные образования на фоновом участке были не засолены, так же как и на участке, находящемся в 7 км от АГК, то слой 0–25 см аналогичных почв,

Таблица 2. Содержание анионов и плотный остаток водорастворимых солей в почвах, тип и степень их засоления

№ п/п	Глубина взятия образцов, см	Общая HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Плотный остаток, мг/кг	Тип засоления	Степень засоления
		ммоль(экв)/100 г почвы мг/кг					
1	0–5	–	1.07 380 ± 90	1.59 763 ± 68	2260 ± 430	Хлоридно-сульфатный	Слабая
	20–25	–	0.91 322 ± 50	1.13 542 ± 72	1940 ± 320		
	35–40	–	0.36 127 ± 20	0.49 233 ± 56	981 ± 401		Не засолена
	55–60	34 ± 5	0.31 109 ± 12	0.84 403 ± 44	880 ± 208		
2	0–5	–	2.69 953 ± 113	27.2 13000 ± 580	24100 ± 1100	Сульфатный	Очень сильная
	20–25	–	2.45 870 ± 98	25.0 12000 ± 670	21100 ± 1000		
	35–40	–	1.58 560 ± 45	12.4 5970 ± 129	9870 ± 270		Сильная
	55–60	129 ± 9	1.06 376 ± 29	9.52 4570 ± 110	7770 ± 110		
3	0–5	–	0.17 60 ± 5	12.8 5770 ± 470	10600 ± 1100		
	10–15	–	0.25 85 ± 11	18.9 9100 ± 60	14800 ± 30		
	20–25	–	0.47 165 ± 2	20.3 9750 ± 50	16200 ± 160		
	35–40	–	0.45 156 ± 5	19.6 9420 ± 160	14900 ± 300		Сильная
	55–60	–	0.51 180 ± 9	– 9140 ± 200	11600 ± 300		
4	0–5	–	0.02 6.3 ± 0.5	7.33 3520 ± 470	3730 ± 580		Средняя
	10–15	–	0.03 9.3 ± 0.4	4.81 2310 ± 20	3670 ± 150		
	20–25	–	0.03 11.8 ± 0.5	4.44 2130 ± 130	3210 ± 320		
	35–40	–	0.04 14.3 ± 0.5	3.90 1870 ± 110	2840 ± 390		Слабая
	55–60	–	0.04 12.2 ± 0.8	4.51 2170 ± 130	3260 ± 420		
5	0–5	0.18 112	0.51 180 ± 30	1.38 663 ± 48	860 ± 125	Хлоридно-сульфатный	Не засолена
	20–25	0.20 121	0.34 122 ± 50	0.92 442 ± 72	743 ± 121		
	35–40	0.18 109	0.28 99 ± 18	0.38 184 ± 36	672 ± 101		
	55–60	–	–	–	–		
							–

Таблица 2. Окончание

№ п/п	Глубина взятия образцов, см	Общая HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Плотный остаток, мг/кг	Тип засоления	Степень засоления
		ммоль(экв)/100 г почвы мг/кг					
6	0–5	0.24 147 ± 5	14.8 5260 ± 490	18.2 8760 ± 200	26200 ± 2100		Очень сильная
	20–25	0.22 136 ± 10	12.2 4330 ± 350	15.4 7400 ± 210	22000 ± 1900		
	35–40	0.23 141 ± 8	6.4 2250 ± 310	11.6 5550 ± 300	16700 ± 1000		
	55–60	0.21 129 ± 9	4.5 1590 ± 460	7.3 3520 ± 500	9450 ± 290		
7	0–5	0.22 133 ± 5	0.54 190 ± 75	1.19 573 ± 5	933 ± 174		Не засоленная
	20–25	0.21 130 ± 10	0.51 179 ± 89	0.91 435 ± 15	718 ± 122		
	35–40	0.27 167 ± 9	0.37 130 ± 56	0.76 366 ± 20	899 ± 97		
	55–60	0.17 102 ± 21	0.25 89 ± 14	0.44 210 ± 12	567 ± 23		
8	0–5	0.27 163 ± 2	3.18 1130 ± 60	4.79 2300 ± 50	5410 ± 150		Сильная
	20–25	0.33 202 ± 23	2.16 766 ± 45	3.90 1870 ± 70	4430 ± 140		
	35–40	0.30 180 ± 32	2.00 708 ± 89	3.50 1680 ± 100	4010 ± 190		
	55–60	0.38 234 ± 48	1.84 654 ± 79	3.39 1630 ± 90	3760 ± 210		

расположенных на расстоянии 50–100 м, в связи с увеличением содержания сульфатов характеризовался слабой степенью засоления. Увеличение содержания сульфатов в солончаках, расположенных в 50–100 м от АГК, привело к их очень сильному и сильному сульфатному засолению на исследованных глубинах, тогда как на фоновом участке солончаки соответствовали хлоридно-сульфатному типу засоления преимущественно средней степени. Солончак, находящийся в 7 км от АГК, по количеству солей был примерно сопоставим с солончаком, расположенным на расстоянии 50–100 м от АГК. Однако в первом по отношению к последнему на верхних двух глубинах количество сульфатов было в 1.5–1.6 раза меньше.

По сравнению с ненарушенными почвами, удаленными на 50–100 м от АГК, нарушенные почвенные образования на перевейанных песках, содержащие включения серы и покрытые застывшим серным расплавом, характеризовались более сильным подкислением и распространением

вниз по профилю, что сопровождалось более значительным увеличением содержания сульфатов на исследованных глубинах.

Не установлено влияния АГК на содержание сульфидов в почве, что возможно было вызвано относительно быстрой их трансформацией в сульфаты в условиях преобладания окислительных условий почв района расположения АГК и недолгого их существования в почвах.

Таким образом, воздействие серосодержащих выбросов АГК на прилегающие почвы выразилось в их значительном подкислении и увеличении содержания сульфатов вплоть до засоления, что снижало качество почв. Факторами, усиливающими эти процессы, были нарушение почв, содержание в них включений серы и наличие слоя застывшего серного расплава. По всей видимости два последние фактора можно свести к поступлению серы в почву и увеличению температуры ее взаимодействия с почвой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тарасов В.Н., Тарасова Н.В.* Загрязнение атмосферы и заболеваемость детей Астраханской области // Усп. совр. естествознания. 2002. № 5. С. 62–63.
2. *Николаевский В.С.* Биологические основы газостойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 278 с.
3. *Гудериан Р.* Загрязнение воздушной среды. М.: Мир, 1979. 198 с.
4. *Чудинова Л.А., Орлова Н.В.* Физиология устойчивости растений. Пермь, 2006. 124 с.
5. *Hancock J.T., Whiteman M.* Hydrogen sulfide and cell signaling: Team player or referee? // Plant Physiol. Biochem. 2014. V. 78. P. 37–42.
6. *Rennenberg H.* The fate excess of sulfur in higher plants // Annu. Rev. Plant Physiol. 1984. V. 35. P. 121–153.
7. *Плященко С.И., Хохлов И.И.* Микроклимат и продуктивность животных. Л.: Агропромиздат, 1987. 64 с.
8. *Щербатюк А.П.* Растения как индикаторы состояния урбанизированных экосистем // Вестн. ЗабГУ. 2013. № 2. С. 56–60.
9. *Абрамов А.А.* Собр. соч. Т. 6. Флотация. Физико-химическое моделирование процессов. М., 2010. 607 с.
10. *Шеуджен А.Х.* Биогеохимия. Майкоп: ГУРИПП “Адыгя”, 2003. 1028 с.
11. *Стейниер Р., Эдельберг Э., Ингрэм Дж.* Мир микробов. Т. 1. М.: Мир, 1979. 320 с.
12. *Мак-Дональд П.* Питание животных. М.: Колос, 1970. 459 с.
13. *Георгиевский В.И., Анненков Б.Н., Самохин В.Т.* Минеральное питание животных. М.: Колос, 1979. 459 с.
14. *Косолапов В.М., Чуйков В.А., Худякова Х.К., Косолапова В.Г.* Минеральные элементы в кормах и методы их анализа. М.: ООО “Угрешская типография”, 2019. 272 с.
15. СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.”
16. *Столбовой В.С., Гребенников А.М., Оглезнев А.К., Иванов А.Л., Ильин Л.И., Колесникова Л.Г., Петросян Р.Д., Шилов П.М., Филь П.П., Корчагин А.А.* Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Верс. 1.0 / Коллектив. монография. Иваново: ПресСто, 2021. 260 с.
<https://doi.org/0.51961/9785604637401>
17. *Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–40.
18. *Трушковский А.А.* Почвенные образования на эоловых песках Прикаспийской низменности между реками Волгой и Уралом // Генезис и классификация полупустынных почв. М., 1966. С. 167–221.
19. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
20. ГОСТ 26424-85. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке.
21. ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке.
22. ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке.
23. *Благовещенский Ю.Н., Самсонова В.П., Дмитриев Е.А.* Непараметрические методы в почвенных исследованиях. М.: Наука, 1987. 96 с.
24. *Смирнов П.М., Петербургский А.В.* Агрохимия. М.: Колос, 1975. 512 с.

Impact of Emissions from the Astrakhan Gas Complex on the Quality of the Soils of the Adjacent Territory

A. M. Grebennikov

Federal Research Center “V.V. Dokuchaev Soil Institute”

Pyzhevsky p. 7, p. 2, Moscow 119017, Russia

E-mail: gream1956@gmail.com

The influence of sulfur-containing emissions (sulfur dioxide, hydrogen sulfide and elemental sulfur) of the Astrakhan gas Complex (AGC) on the soil cover (soil formations on sifted sands and salt marshes) during the soil survey was studied. At fixed depths of 0–5, 20–25, 35–40 and 55–60 cm of soil, samples were taken without visible disturbances and inclusions of elemental sulfur, 50–100 m away from the boundaries of the AGC; in disturbed soils with inclusions of elemental sulfur or its frozen melts in areas adjacent to the boundaries of the AGC with storage sites of elemental sulfur; in soils in areas similar in soil cover to the territory adjacent to the AGC, and remote from it by 7 and 30 km. In the selected samples, pH_{H2O}, the content of sulfides, the amount of dense residue in the aqueous extract, the content of bicarbonates, chlorides and sulfates in it were determined. It was found that the effect of sulfur-containing AGC emissions on adjacent soils was expressed in their significant acidification and an increase in the content of sulfates up to salinization, which reduced the quality of soils. The factors reinforcing these processes were soil disturbance, the content of sulfur inclusions in them and the presence of a layer of solidified sulfur melt.

Key words: sulfur-containing emissions, acidification of soils, sulfate salinization, soil formations, salt marshes.