

<https://doi.org/10.29013/EJTNS-23-2-7-17>

*Yuldashev Gulom,
Doctor of Agricultural Sciences,
Professor doctoral students:
Azimov Zikrjon Muhammadovich,
Mamajonov Inomzhon Noralieovich,
Makhramkhuzhaev Sultonkhuzha Akramkhuzha coals,
Ferghana State University*

PEDOGEOCHEMICAL FEATURES OF SILICON IN SALT AND LIGHT SEROZEMS

Abstract. Based on our own and literary materials, the paper presents materials on the content of silicon in the lithosphere, soil, water, plants, and also in some silicate compounds. In addition, the contents of gross and mobile forms, as well as the number of atoms, oxides, eluvial-accumulative coefficients, migration and accumulation of silicon in natural and anthropogenic solonchaks, as well as in irrigated light gray soils, are given.

Keywords: lithosphere, silicon, phosphoric acid, clarke, mobile, oxen, silica, minerals, silicate minerals, number of atoms, Earth's crust.

*Юлдашев Гулом,
д.с.х.н., профессор
докторанты:
Азимов Зикржон Мухаммадович,
Мамажонов Иномжон Норалиевич,
Махрамхужаев Султонхужа Акрамхужа угли,
Ферганский государственный университет*

ПЕДОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРЕМНИЯ В СОЛОНЧАКАХ И СВЕТЛЫХ СЕРОЗЕМАХ

Аннотация. В работе на основе собственных и литературных материалов представлены материалы по содержанию кремния в литосфере, почве, воде, растений, а также в некоторых силикатных соединений. Кроме того, приведены содержания валовых и подвижных форм, а также количество атомов, оксидов, элювиально-аккумулятивные коэффициенты, миграция и аккумуляция кремния в природных и антропогенных солончаках, а также в орошаемых светлых сероземах.

Ключевые слова: литосфера, кремний, ортофосфорная кислота, кларк, подвижный, волювые, кремнезем, минераллы, силикатные минераллы, количество атомов, Земная кора.

Кремний является одним из наиболее распространенных элементов в литосфере и почве. По данным Виноградова [7], кремний составляет 25,74%, т.е. $\frac{1}{4}$ массы земной коры. Эта ситуация связана с количеством кислых массивных пород. В базальтах [6] его количество составляет 22–23%, т.е. почти равно кислым породам.

Кремний имеет удельный вес земной коры 2,33 и средний удельный вес почвы близок к этому. Потому что, как было сказано выше, Si составляет $\frac{1}{4}$ часть земной коры. Геохимический круговорот Si очень важен для земной коры и почвы, так как связан с рядом физико-химических свойств почвы. В частности, если удельная масса Si равна 2,33, удельная масса почвы составляет около 2,55–2,70 г/см³. Обилие Si в земной коре и почве имеет большое теоретическое и практическое значение, так как этот элемент является одним из элементов каркаса почвы. Она занимает первое место по кислороду в десятилетие Вернадского и составляет 25,7% по массе земной коры. Понятно, что Si в свободном виде в почве не существует. Он постоянно присутствует в виде минералов в силикатах и оксидах. Его самое основное соединение называется кремнеземом SiO₂ или ангидридом кремния. Этот оксид, то есть SiO₂, по Вернадскому, составляет 55,3% земной коры. SiO₂ – стабильное соединение, и его наиболее распространенная сфера – литосфера и педосфера.

По Вернадскому, в научной литературе он часто встречается в виде соединений с кремнием, азотом, бором, водородом, углеродом. Также были идентифицированы сульфозоли

кремнезема. Самое интересное, что SiF₄ – то есть фторид кремния – тоже присутствует в природе. Соединения с оксифторидной формулой топаза Al₂SiO₄(FОН)₂ также существуют в природе. Топаз – один из драгоценных минералов. Соединения Si с хлором также встречаются в земной коре, но оно неустойчиво и быстро разлагается.

Таким образом, основной и наиболее распространенной формой Si являются его кислородные соединения. Существующий оксид кремния является основой для образования других соединений кислорода в природе, поэтому производные SiO₂ в минералогии и почвоведении называют силикатами. Наиболее распространенная их группа – соединения металлов, которых также много в почве. Например, энстатит, представляющий собой MgSiO₃, силлиманит Al₂SiO₃. Кремнезем и его соли определяют биогеохимию кремния. Оксид кремния также образует простые силикаты с металлами. Соединения Si, металла и кислорода определенно являются солями. Также были идентифицированы соединения Si с металлом, кислородом и водородом. Так, среди соединений Si наиболее распространены соединения ортокремния и метакремния, образованные с металлами, общая формула которых соответствует M₂SiO₄ и MSiO₃.

К ним относятся соединения Mg, Mn, Zn и Cu. Кремнезем, а точнее SiO₂, образует комплексные соединения со многими другими природными оксидами. К таким оксидам относятся Al₂O₃, Fe₂O₃, P₂O₅, CO₂, K₂O, CaO, MgO, TiO₂, Cr₂O₃, Mn₂O₃ и другие. Следовательно, Si может вызывать концентрацию

и деконцентрацию ряда элементов в почве. Это делает эти элементы очень важными в биогеохимическом цикле, особенно в цепи почва-растение. Причина этого в том, что они проявляются в общем химическом анализе почвы, а также в анализе элементного состава

растений и почвы. Алюмосиликаты являются одними из наиболее распространенных соединений Si. Вернадский описывает образование алюмосиликатов, алюминатов, силикатов и $Al_2O_3 \cdot nH_2O$, то есть корунда, через кварц следующим образом.

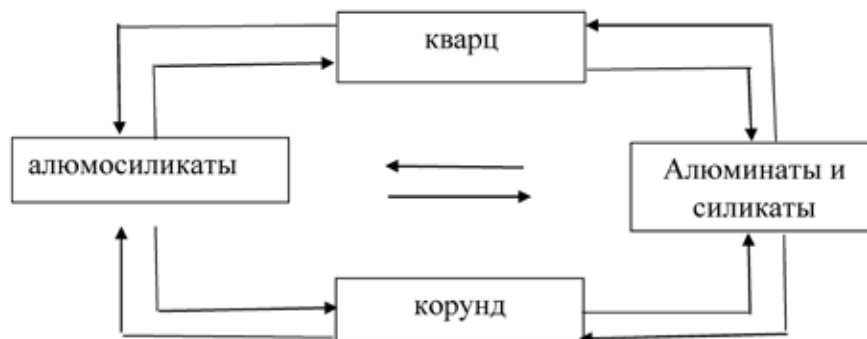
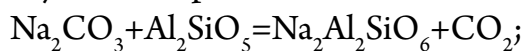


Рисунок 1.

Конечно, в природе реакции идут гладко в обе стороны, то есть из корунда в итоге может образоваться кремнезем. Этот процесс очень важен в природе. Особенно в биогеохимии алюминия. Понятно, что особое место в истории Si занимает алюминий, так как соединения Si с алюминием большой группы, называемой алюмосиликатами, широко распространены в литосфере и почве. По Вернадскому, алюмосиликаты составляют более 70% массы литосферы. Алюмосиликаты могут играть основную роль в почве для групп, называемых полуоксидами, и могут быть основой для образования Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , Mn_2O_3 , Ti_2O_3 . Эти оксиды играют роль ангидридов в жизни. Эти ангидриды, в частности агрегатный оксид-силлиманит, образующийся из Al_2O_3 и SiO_2 , реагируют с содой по Вернадскому следующим образом:



Кремний принимает участие в качестве постоянного спутника в почвенном растворе, генетических слоях, фильтрационных во-

дах и растительности ландшафта пустынной области, особенно геохимического каскада и замкнутых и элементарных геохимических ландшафтных блоков. В результате гидролиза ряда минералов, особенно алюмосиликатов, образуются SiO_2 , $SiO_2 \cdot nH_2O$ и различные ионы и другие формы. Он также образуется в результате минерализации растительных остатков. В связи с этим почвы тропических районов отличаются высокой степенью десиликатизации ряда минералов. Минералы кремния отличаются своим обилием в природе. Поэтому во всех ландшафтных блоках он участвует в разном качестве и количестве. Но в районах с засушливым климатом среди других мигрирующих элементов он находится в составе подчиненных элементов, т.е. его количество связано с количеством других водорастворимых и мигрирующих элементов. Таким образом, в продуктах почвообразования, в составе продуктов выветривания постоянно присутствует и присутствует разное количество Si. Достаточно показать, что причина

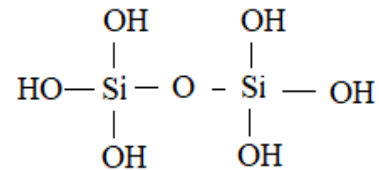
этого зависит от растворимости элемента Si в воде, почвенных и грунтовых водах.

Это связано с образованием ортокремниевых, метакремниевых слабых кислот и их взвесей и растворов некоторых кремний-органических соединений [13, 32, 31]. По данным научных источников, SiO₂ присутствует в фильтрационных водах и озерах в количестве 10–50 мг/л, а в отдельных случаях 200 мг/л. При этом обратим внимание на то, что растворимость и миграционные свойства кремнезема в щелочной среде, особенно при рН = 10–11, составляют до 100–200 мг/л. По данным [2] видно, что растворимость кремнезема зависит от рН наряду с температурой, т.е. после того, как рН превышает 10 при температуре 22 °С, его растворимость резко возрастает и достигает 800–1000 мг/л. Конечно, в почве такая ситуация трудно реализуема, так как ряд солей оказывает положительное и отрицательное влияние на растворимость SiO₂. Водорастворимые соли присутствуют в разном количестве и качестве в почвах разной засоленности, поэтому и эффект будет соответствующий.

Относительно устойчивым соединением кремния, безусловно, является кварц, его количество в песчаных фракциях достигает 40–90%, а в некоторых случаях и выше. Количество кварца определяет механический состав почвы, то есть если его количество до 55–70%, или если количество физической мутности до 30–45%, то такие почвы называются среднеспесчаными по механическому составу. и, в зависимости от типа или типа почвы, относятся к числу наиболее плодородных почв по этому показателю, то есть за типичную сероземную среднесуглинистую принимали кредитный балл 100. Следует также отметить

малорастворимость кремнезема (SiO₂) в воде, что приводится Д. С. Орловым [17] и описывается следующим образом:

SiO₂ + H₂O ↔ Si(OH)₄ образует ортокремниевую кислоту (H₄SiO₄) в жидких растворах в виде мономеров. Если концентрация раствора содержит более 140 мг/л SiO₂, то ортокремневая кислота принимает мономерную форму:



Эта кислота очень слаба, ее устойчивость невысока, поэтому в засушливых климатических районах, особенно в пустынных районах, она быстро превращается в кремнезем. Кроме того, на дегидратацию ортокремниевой кислоты положительно влияет нейтральная и слабая щелочность почвы пустынной области.

Растворимость кремнезема лучше всего проявляется в основном в кислых средах. Кремнезем также отделяют от алюмосиликатов в результате сложных гидролитических процессов. В общем случае процесс отделения кремнезема от почвенных силикатов называется десиликатированием [17]. SiO₂ медленно выщелачивается в почвах с кислым промывным водным режимом, но в засушливых климатических почвах почти исключается промывной водный режим при поливе сельскохозяйственных культур, то есть в этом случае кремнезем вымывается очень и очень мало.

Особую биогеохимическую роль в жизни играет кремний, без которого живые существа жить не могут [6]. 97% большинства горных пород и минералов состоят из кремнистых силикатов [7]. В 19 веке, после присутствия Si в растительных тканях, были обнаружены по-

вышение продуктивности растений, его защитные свойства, изменилось научное и практическое отношение к Si, т.е. к Si. Отличительной особенностью Si является то, что среди изученных элементов он не оказывает отрицательного действия на растение и его плодородие, даже при избытке его в почве [13]. В целом ситуация, миграция и накопление Si в биологии и сельском хозяйстве, особенно в почвенной и растительной цепи, изучены недостаточно. Его роль в сельском хозяйстве также недостаточно изучена. Верхнее, нижнее и оптимальное количество этого элемента в сельскохозяйственных растениях, естественной растительности, почве и ее профиле все еще ждут своего решения для большинства почв.

Конечно, Si поглощается из почвы [20; 21] в структуру растения и урожай, т.е. растение получает Si в основном из почвы и воды. Встречается в кварце, аморфном диоксиде кремния и полевых шпатах: ортоклазе, анортите, вермикулите, смектите, каолине, плагиоклазе и др. Растворимость Si в минералах очень низкая, то есть он практически нерастворим, поэтому с биогеохимической точки зрения считается неактивным [24; 25]. В воде растворимы только моно- и поликремниевые кислоты.

По Вернадскому, без него не может существовать ни один организм в биосфере. Si является необходимым элементом для формирования клеток и их тканей, и в то же время является каркасным элементом для почвы. Вот почему при обилии Si в почве редко ощущается его дефицит у некоторых видов растений.

Подвижное количество кремния невелико и составляет 1–3% от общего его количества [5, 3, 1]. Теоретически SiO_4 может поглощаться растением в виде SiO_3 и претерпевать превращения, в результате чего получается

аморфный Si. Si в таком состоянии попадает в почву после окончания жизни растений и накапливается в ее верхней части. Этот процесс более характерен для гидроморфных почв [4].

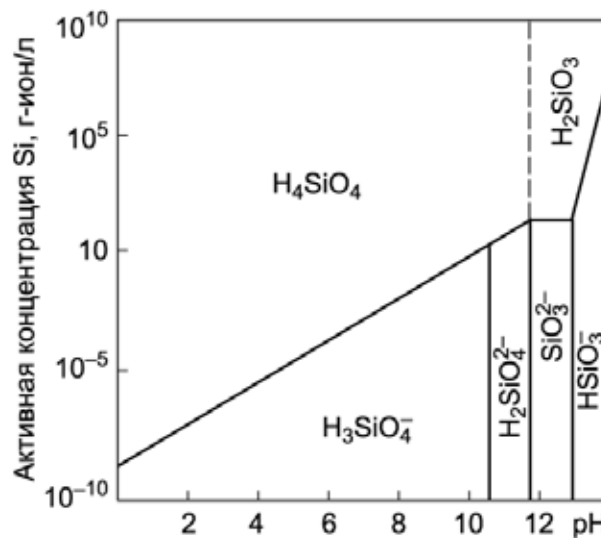


Рисунок 2. Формы кремниевой кислоты в природных водах

Конечно, баланс Si в почве зависит от процессов почвообразования, ее материнского пола и вида произрастающих в ней растений. На высокий уровень активности Si в цепи почва-растение указывал Ковда В.А. [13]. В реальности теоретически в почвенном растворе присутствуют монокремниевая и поликремниевая кислоты. Монокремниевая кислота содержит один Si. Он имеет следующий вид: H_4SiO_4 – ортокремниевая кислота, эта кислота химически присутствует в виде SiO_4 – аниона, а метакремниевая кислота H_3SiO_3 в редких случаях. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. описывает следующим образом [1]. По сути, монокремниевые кислоты являются производными кремниевых минералов, их максимальная растворимость в нормальных условиях составляет 50–60 мг/л. Эта ситуация соответствует аморфному кремнезему, а растворимость кварца составляет 2–4 мг/л.

Механизм плавления очень сложен и состоит из нескольких стадий [1]. В сложной системе, т.е. в почве, количество Si-содержащих кислот связано с количеством аморфного кремнезема. В зависимости от почвенной среды и условий кремниевые кислоты могут реагировать с тяжелыми металлами, такими как Fe, Ca, Mn, Mg, Al, Pb, с образованием различных силикатов. Теоретически Si считается активным элементом в образовании алюмосиликатов. В то же время он снижает подвижность алюминия. Подвижный Si адсорбируется на поверхности алюминия и становится барьером для поступления алюминия в растение [14].

Из этого складывается теоретический вывод, что Si-удобрения или некоторые подвижные соединения могут снизить уровень токсичности Al в почве. Теоретически увеличение количества подвижного Si в почве увеличивает растворимость в почве фосфатов Ca, Fe, Al, даже если она частичная, то есть увеличивает количество подвижного фосфора, который может быть усвоен растением, хотя и небольшой. При этом неподвижный фосфор частично превращается в подвижный фосфор. Следует отметить, что увеличение количества подвижного Si в почве одновременно приводит к биоремедиации отравленных почв за счет связывания токсичных тяжелых металлов. Si в почве достаточно, в большинстве случаев больше нормы, но потребности растений не удовлетворяются. Только 1–3% из них подвижны по сравнению с общим [11, 28].

По данным Ю. Н. Водняницкого [8], в процессе почвообразования Si активно вымывается из верхних, точнее верхних слоев подзолистых почв. Вот почему растениям необходим подвижный Si в кислых и сильнощелочных почвах. В веществах почвы, в ее атомном строе-

нии, атомах и ионах мы можем определить тайны и причины плодородия почвы. Поскольку вещества, атомы и ионы в почве не чужды почве, они являются составными частями почвенного тела, накопителями энергии и ее носителями. Энергия почвы определяет ее виды, виды и продуктивность. Атомы, ионы, химические вещества не являются чуждой, бесполезной материей для тел, в которых они существуют. Химический состав почвы, как и земной коры, связан с точным строением атомов, то есть количеством и качеством атомов, точное строение определяет состояние почвы.

Установлено, что распределение и накопление Si в почвах составляет 200–350 г/кг в глинистых почвах и 450–480 г/кг в песчаных почвах [13]. Si является одним из элементов, составляющих скелет почвы. Из-за стабильности соединений с Si подвижность Si отнесена к инертной группе в классификации [15; 16; 19]. В почвенном растворе всегда присутствуют моно- и поликремниевые кислоты и кремнеорганические вещества [30; 33]. SiO_2 – растворяется в воде в минимальном количестве 2–4 мг/л, максимальное может быть 50–60 мг/л. Механизм растворения прост: $\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4$ ортокремниевая кислота. Растворимость кремнезема резко снижается сульфатами, бикарбонатами и обеспечивает осаждение с щелочноземельными металлами и оксидами [23; 27]. В циркуляции кремнезема большое значение имеет его токсическое соединение, т.е. аэрозоли SiO_2 , вызывающие у живых организмов заболевание «силикоз», которое, к сожалению, еще мало изучено в науке [22; 23; 26].

Поглощающая способность малогумусированных почв пустынных районов невелика, так как в их минеральном составе преобладают

каолинит, галлаузит, слюды, хлориты, а их поглощательная способность составляет 2–15 мг-экв. только в некоторых случаях она выше.

В природных рассолах и вторичных рассолах основным источником кремния является кремний в просачивающихся водах и материнских породах. Кроме того, верхний слой орошаемых почв обогащается SiO_2 за счет взвешенных веществ, содержащихся в поливной

воде. Самым основным и распространенным соединением Si является, безусловно, SiO_2 , т.е. кремнезем. Но он, т.е. Si, содержится в каолините, галлаузите, монтмориллоните, слюдах, хлоритах и других. На основании литературных данных [18] и [23; 29] относительно усовершенствованная авторами цепь действия описывается следующим образом (рис. 2).



Рисунок 3. Схематическая цепочка действия кремния в ландшафтах

В основе цепи движения лежат валовое и подвижное количества Si, число атомов в 100 г почвы, количество SiO_2 , элювиальный коэффициент накопления (ЭАК) валового Si, концентрация Кларка (КК), распределение Кларка (КР) и другие количественные показатели и коэффициенты. Эта ситуация представлена в (табл. 1). Согласно данным таблицы, количество Si в общем и подвижном

количестве существенно различается в профилях естественных болот, орошаемых светло-серых почв и вторичных болот.

В природных солончаках (участок 3А) общее количество Si неуклонно и постепенно снижается в почвенном профиле, причем снижение происходит в пределах от 27,11 до 22,20%. В случае орошаемых вторичных солончаков (участок 1А) наблюдаются иные

условия, т.е. профиль колеблется в пределах 29,10–33,12%. Максимальное количество наблюдается при 50–87 см и составляет 33,12%. Наименьшее количество приходится на слой

ходовой части в орошаемых светло-серых почвах (разрез 1с) общий Si колеблется в пределах слоев 0–100 см, в генетических слоях составляет 32,6–34,10%.

Таблица 1. – Кремнезем в солончаках и серозенных почвах

Разр. №	Глубина, см	Валовое, %	Подвижный, мг/кг 100 г. почв	Количество атомов $n \cdot 10^{23}$	SiO ₂ , %	ЭАК	КК	КР
Солончаки в естественных условиях								
3А	0–3	27,11	7,7	5,83	57,92	1,37	0,92	1,09
	3–46	26,13	6,6	5,62	55,83	1,32	0,88	1,13
	46–74	25,30	9,9	5,44	54,06	1,28	0,86	1,17
	74–107	24,60	9,4	5,29	52,56	1,24	0,83	1,20
	107–160	22,20	12,7	4,77	47,44	1,12	0,75	1,33
	Грунтовые воды, мг/л	-	20,20	-	-	-	-	-
Орошаемые вторичные солончаки								
1А	0–33	31,10	16,3	6,69	66,45	1,57	1,05	0,95
	33–50	29,10	14,6	6,26	62,18	1,47	0,99	1,01
	50–87	33,12	12,9	7,12	70,77	1,67	1,12	0,89
	87–129	31,20	11,6	6,71	66,67	1,57	1,06	0,95
	129–208	31,8	11,1	6,84	67,94	1,61	1,08	0,93
	Грунтовые воды, мг/л	-	22,10	-	-	-	-	-
Орошаемые светлые сероземы								
1с	0–10	33,71	5,8	7,25	72,03	1,70	1,14	0,87
	10–40	34,10	5,2	7,33	72,86	1,72	1,16	0,86
	40–80	33,60	4,9	7,22	71,79	1,70	1,14	0,88
	80–100	32,6	4,10	7,01	69,66	1,65	1,10	0,90
2с	0–20	30,61	10,2	6,58	65,41	1,55	1,04	0,96
3с	0–20	28,10	10,8	6,04	60,04	1,42	0,95	1,05

Суммарный Si в подстилочном слое слабосмытых светло-серых почв составляет 30,61% (разрез 2с), а в выщелоченных почвах – 28,10% (разрез 3с). Общее количество Si мало влияет на его подвижность в нормальных условиях, но эта ситуация, по-видимому, сильно отличается в засоленных и орошаемых светло-серых почвах.

Количество подвижного Si в природных солончаках составляет 6,6–12,7 мг/кг, что зна-

чительно ниже, чем во вторичных солончаках. Основной причиной такой ситуации является вторичное засоление из-за влияния поливной воды и ее наносов, поэтому количество растворимого Si в воде выше.

Но в орошаемых светло-серых почвах количество подвижного Si почти в 2–3 раза меньше в слоях 0–100 см, чем в других. Такое положение объясняется различием их, то есть генезиса изучаемых почв, материнского пола.

Материнские породы природных и вторичных сланцев характеризуются аллювиальными и пролювиальными отложениями, а материнские породы светлых сероземов – скелетным проллювием.

Как указывалось выше, наличие валового и подвижного Si в 50–87-сантиметровом слое вторичных отложений относительно велико, соединения Si растворяются в воде даже при небольшом их количестве, а значит, под влиянием орошения его подвижная форма переходит в этих глубин и аккумулирует при этом 22,10 г фильтрационной воды/л. Si движется вверх с фильтрационной водой в засоленных районах и поднимается до 50–87 см, и является одной из причин образования богатороговых сцементированных слоев в этот слой. Благодаря подвижным формам Si отрицательно заряженные коллоиды обладают цементирующими свойствами [9].

Валовое и подвижное количества кремния представляют собой число атомов в 100 г почвы, количество SiO_2 . В частности, число атомов в 100 г почвы на профиле поперечного сечения 3А составляет $4,77 \cdot 10^{23}$ – $5,83 \cdot 10^{23}$. Этот показатель значительно выше в более поздних вторичных почвах и орошаемых светло-серых почвах. В светло-серых почвах она составляет $7,01 \cdot 10^{23}$ – $7,33 \cdot 10^{23}$. По этому показателю вторичные спайки являются промежуточными числами. Количество SiO_2 образуется пропорционально общему количеству Si. Мы можем видеть эту ситуацию из данных таблицы. Как и следовало ожидать, более высокие значения SiO_2 соответствуют сероземам. Что же касается других педогеохимических показателей, то есть КК увеличивается с увеличением валовой суммы и в целом колеблется в пределах 0,75–1,16, то

противоположные значения представлены КТ. Наиболее высокие показатели аллювиально-аккумулятивного коэффициента соответствуют сероземам. В целом почти все почвогеохимические показатели соответствуют количеству валового Si, только количество подвижного Si в светло-серых почвах немного нарушает это правило, то есть подвижное количество валового Si меньше, чем в других почвах по сравнению с другими почвами. Такое положение объясняется тем, что генезис этих почв разный.

Выводы

1. По мере увеличения содержания свободного и кремнеземистого Si в структуре почвы снижается ее поглотительная способность, т.е. почвы. При этом снижаются его тонущие и набухающие свойства, облегчается механическая структура, повышается водо-, воздухо- и температуропроницаемость. Поверхность сравнения сжимается. Заряд коллоидных частиц становится отрицательным, так как слюда и каолинит относятся к отрицательно заряженным минералам.

2. Во внутренних слоях почвы вместе с минерализованной водой по направлению к испарительным барьерам ортокремневая кислота движется в районе пустыни, особенно при образовании конусов, и при достижении испарительного барьера теряет воду и превращается в SiO_2 будет преодолен.

3. Из-за образования соды в почвенных слоях резко повышается рН до 10–11, и в такой среде увеличивается подвижность Si и он перемещается из внутренних слоев в двойные барьеры и застревает в барьерах., в результате увеличивается концентрация Si и его соединений, хотя и медленно, это условие сказывается на механическом строении почвы.

Список литературы:

1. Бабушкин В. П., Матвеев Г. М., Мчедлов-Петросян О. П. Термодинамика силикатов – М. 1972.
2. Боброва Е. К. Биогенный кремний почв сложного генезиса: Автореф. дис. канд. биол. наук. – М., 1995.
3. Борисов М. В. Экспериментальное исследование форм нахождения кремнекислоты в растворах. Автореферат дис. канд. био. наук. – М., 1976.
4. Вапиров В. В., Феоктистов В. М., Венкович А. А., Вапирова Н. В. К вопросу о поведении кремния в природе и его биологической роли // Уч. зап. Петрозаводск. гос. ун-та. – № 2. 2017. – С. 95–102.
5. Варшалл Г. М., Драчёва Л. В., Замокина Н. С. О формах кремнекислоты и методах их определения в природных водах // Химический анализ морских осадков. – М., 1980.
6. Вернадский В. И. Биосфера. Труды по биохимии – М. Мысль. 1967. – 376 с.
7. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М. 1957. – 238 с.
8. Водяницкий Ю. Н. Дефицит кремния в некоторых почвах и пути его устранения Агрохимия. – № 8. 1984. – С. 127–2–131.
9. Гедройц К. К. Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв // Избр. соч. – Т. 1. – М., 1955.
10. Гольева А. А. Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. – М., Сыктывкар; Элиста, 2001.
11. Князькова И. С. Исследование состояния кремнезема в водных растворах: Автореф. дис. канд. хим. наук. – М., 1974.
12. Князькова И. С. Исследование состояния кремнезема в водных растворах: Автореф. дис. канд. хим. наук. – М., 1974.
13. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. – М. 1985. – 251 с.
14. Матковский П., Ярулин Р. Кремний в мире человека Chem. J. – № 6–7. – С. 36–39.
15. Матыченков В. В., Шнайдер Г. С. Подвижные соединения кремния в некоторых почвах юга Флориды // Почвоведение. – № 12. 1996.
16. Матыченков, Хомяков Д. М., Пахненко Е. П., Бочарникова Е. А., Матыченков В. В. Подвижные кремниевые соединения в системе почва-растение и методы определения. Вест. Мос. ун-та сер. 17. Почвоведение. 2016. – № 3.
17. Орлов Д. С. Химия почв. – М., 1992. – 400 с.
18. Орлов Д. С., Безуголова О. С. Биогеохимия – Ростов на-Дону 2000. – 320 с.
19. Польшов Б. Б. Геохимические ландшафты. – М., 1952.
20. Самсонова Н. Е. Кремниевые удобрения для внекорневой подкормки зерновых культур // Сб. мат-лов международная научно-практическая конференция. “Продовольственная безопасность: от зависимости к самостоятельности”. – Смоленск: Смоленск. ГСХА, 2017. – С. 159–166.

21. Самсонова Н. Е., Козлов Ю. В., Зайцева З. Ф., Шупинская И. А. Эффективность соединений кремния при обработке семян и растений кукурузы (*Zea mays* L.) // *Агрохимия*. – № 1. 2017. – С. 12–18.
22. Сапожников С. П., Гордова В. С. Роль соединений кремния в развитии аутоиммунных процессов (обзор) // *Микроэлементы в медицине*. – Т. 14. – № 3. 2013. – С. 3–13.
23. Соколова Т. А., Дронова Т. Я., Толпешта И. И. Глинистые минералы в почвах. – М., 2005.
24. Ahmad A., Tahir M., Afzal M. Effect of foliar application of silicon and boron on rice. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 132 p.
25. Ahmad A., Afzal M., Ahmad A. U.H., Tahir M. Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) // *Cercetări Agronomice în Moldova*. – V. 46. – № 3 (155). 2013. – P. 21–28.
26. Bocharnikova E. A., Matichenkov V. V. The management of heavy metal behavior and mobility in the soil-plant system // 31th Mid-Atlantic Industrial and Hazardous Waste Conf. Atlantic city, 1999. – P. 614–621.
27. Bocharnikova E. A., Pinsky D. L., Matichenkov V. V. The influence of soluble silica acids on behavior of heavy metals in soil and natural waters // *Proc. of World-wide Symp. Pollut. in large cities*. Venice; Padova, 1995. – P. 43–51.
28. Carballo-Méndez F.J., Olivares-Saenz E., Vázquez-Alvarado R.E., Zavala-García F., Bolivar-Duarte M., Benavides-Mendoza A. Silicon improves the quality of fruits of *Solanum lycopersicum* Mill. subjected to saline stress // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. *Proced. Abstracts*. 2017. – 64 p.
29. Cornelis J. T., Delvaux B., Georg R. B. et al. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review // *Biogeosciences*. – Vol. 8 (1). 2011. – P. 89–112.
30. Javaid K., Misgar F. A. Effect of foliar application of orthosilicic acid on leaf and fruit nutrient content of apple cv. “Red Delicious” // *Adv. Res. J. Multidisciplinary Discoveries*. – Vol. 20. – Ch. 7. 2017. – P. 30–32.
31. Jeena M., Krishnakumar V., Abdul Haris A. Narayanan Nampoothiri C. K. Impact of silicates on the growth of coconut seedlings grown in a tropical Entisol // 7th Inter. Conf. Silicon Agricult. *Proced. Abstracts*. India, 2017. – 133 p.
32. Maghsoudi K., Emam Y., Ashraf M. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance // *Turkish J. Bot.* – Vol. 39. 2015. – P. 625–634.
33. Moamen M. Al-Wasfy. Response of Sakkoti date palms to foliar application of royal jelly, silicon and vitamins B // *J. Am. Sci.* – V. 9(5). 2013. – P. 315–321.