

УДК 550.4

## ВЛИЯНИЕ ОПАЛ-КРИСТОБАЛИТОВЫХ ПОРОД НА СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРИМЫХ ФОРМ КРЕМНЕЗЕМА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

© 2011 Е.Н. Офицеров<sup>1</sup>, Г.К. Рябов<sup>2</sup>, Ю.А. Убаськина<sup>2</sup>, А.Б. Климовский<sup>3</sup>, Е.Г. Фетюхина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

<sup>2</sup> ООО «Научно-Технологический Центр», г. Ульяновск

<sup>3</sup> Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Поступила в редакцию 12.05.2011

Рассмотрено влияние опал-кристобалитовых пород палеогена Ульяновско-Куйбышевского Поволжья на содержание растворимых форм кремния в природных водах, оценен вклад поверхностного, подземного стоков и аэрозольного переноса. Установлено, что с увеличением массовой доли аморфной кремнекислоты в породе и возрастанием мощности пласта породы содержание растворимых форм кремнезема в природных водах, контактирующих с породой, увеличивается.

Ключевые слова: опал-кристобалитовые породы, кремнезем, природные воды.

Согласно данным [1], динамическое звено круговорота кремния составляет около 2-5% общего цикла. Выводится из круговорота 0,2% кремния, в основном в виде самых устойчивых его соединений – полиморфных разновидностей кремнезема и кремниевых солей - силикатов, с образованием осадочных пород, что делает круговорот кремния открытым. Подобное концентрирование кремния в осадочных породах считается практически необратимым процессом, так как истинная растворимость кремнекислородных соединений в воде незначительна. Кислородным соединением кремния является кремнезем, который существует в растворах в виде монокремниевой кислоты. Истинная растворимость кремнекислородных соединений зависит от многих факторов, но в основном определяется структурой соединений и условиями измерения.

Между тем, как показывают исследования [2, 3, 4], аморфный кремнезем, как полиморфная разновидность с ближним порядком в структуре, обладает большей степенью гидратации и как следствие – высокой растворимостью и реакционной способностью по сравнению с кристаллическими формами.

Биогенный кремнезем опал-кристобалитовых осадочных пород – диатомитов, опок, тре-

пелов, образованный в основном остатками диатомовых панцирей, содержит большое количество аморфного кремнезема (в диатомитах – до 90-95%, в опоках – до 40–80% и в трепелах – до 40-75% [5]).

Таким образом, биогенный кремнезем опал-кристобалитовых пород, образуя растворимые, биогеохимически активные формы, должен активно вовлекаться в динамическое звено круговорота кремния, замыкая его.

Целью работы стало изучение влияния месторождений опал-кристобалитовых пород на содержание кремнезема в природных водах прилегающих регионов.

Вследствие чего определены материалы и разработаны методы для проведения лабораторных исследований. Такие лабораторные исследования включают как экспериментальные лабораторные работы, так и материалы полевых сборов на водоемах Ульяновской области в июне-июле 2001 и 2002 гг.

Для экспериментов использовали диатомит Инзенского и опоку Ляховского месторождения Ульяновской области. Состав диатомита: SiO<sub>2</sub>, 74,8-88,15 %, Na<sub>2</sub>O, 0,74 %, суммарное содержание оксидов Al, Fe, Ti, 5,71-15,01 %, растворимость в КОН, 36,29 %. Состав опоки: SiO<sub>2</sub>, 82,6 – 87,6 %, Na<sub>2</sub>O, 1,06 %, суммарное содержание оксидов Al, Fe, Ti, 6,53 - 10,69 %, растворимость в КОН, 52,7-62,5 %.

Динамику растворимости биогенного кремнезема изучали в лабораторных условиях в системе “кремнезем-вода” для кремнезема опоки и диатомита.

Пробы пород выдерживали в растворе Рингера (0,9% NaCl и 0,1% NaHCO<sub>3</sub>, pH 8,4; 10 г нативной порошкообразной породы/100 мл раствора) при 25°C в течение 5, 10, 15, 20, 25, 30

*Офицеров Евгений Николаевич, доктор химических наук, профессор, декан.*

*Рябов Георгий Константинович, кандидат технических наук, доцент, директор по науке и научно-техническому развитию. E-mail: ryabov.g@mail.ru.*

*Убаськина Юлия Александровна, кандидат технических наук, ведущий специалист. E-mail: baseou@mail.ru.*

*Климовский Андрей Борисович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры физики.*

*E-mail: andrew@klimovsky.ru.*

*Фетюхина Екатерина Геннадьевна, ведущий специалист. E-mail: kato-cat@yandex.ru.*

дней. Так как анализировались только растворимые формы кремнезема, и суспензия хорошо осаждалась, с четким разделением на породу и прозрачный раствор над ней, раствор декантировали. Содержание кремнезема в полученном растворе анализировали кремнемолибдатным методом по методике [6]. Данный метод был выбран из-за его высокой точности и относительной простоты в использовании. Коэффициенты вариаций в лабораторных опытах составили 2,5 - 19,5 %, в пробах природной воды от 0,6 до 30 %. Столь значительные колебания коэффициентов вариаций в пробах природной воды объясняются невозможностью четко установить концентрацию кремнезема даже в пределах одной пробы, так как монокремниевая кислота легко полимеризуется и в таком состоянии уже не поддается определению. В зависимости от условий может происходить и обратный процесс, что также влияет на результат.

Сбор материала из водоемов проводился по ГОСТ 24481-80 "Вода питьевая. Отбор проб".

Всего собрано 164 пробы воды для районных полевых исследований.

Вслед за лабораторными испытаниями проводились полевые исследования содержания растворимых форм кремнезема в водоемах Ульяновской области, на территории которой широко распространены опал-кristобалитовые породы - диатомиты, опоки, трепелы, относимые к нижнесызранским слоям палеогена Ульяновско-Куйбышевского Поволжья [5].

Исследования проводились на правом берегу реки Волги в пределах Ульяновской области, на участках речных систем рек Инзы, Суры, Свияги и многочисленных малых водотоков.

Правобережная часть бассейна реки Волги в исследуемом районе представлена реками Тушенкой, Елауркой, Сирмой, Тукшумкой и другими малыми реками и притоками. Реки Молвино и Тукшумка берут начало в пластах диатомита мощностью менее 20 м, а их русла ориентированы в направлении север-юг. Вплотную к Волге в юго-восточной части области (Сенгилеевский район) прилегают пласты диатомита мощностью 20-50 м и менее 20 м. Из пласта диатомита мощностью 20-50 м с запада на восток вытекают реки Елаурка, Тушенка, Сирма и ряд других притоков, питающих Волгу.

Водная система реки Инзы (западная часть области) включает реку Инзу и ее притоки, протекающую с юга на запад, и расположенную на пластах диатомита мощностью более 50 м, реки Эмбилейку и Сызганку, впадающие в Инзу, протекающие по пластам диатомита от менее 20 м до 20-50 м.

Рассматриваемый в работе участок реки Суры расположен на северо-западе области, где

в Суру впадает река Тала, питающаяся ручьями родникового происхождения, проникающими из пластов диатомита с мощностью менее 20 м, опоки и кварцевого песка. Вниз по течению реки Талы – с юга на север – вдоль северо-западной границы области наблюдается смена кремнесодержащих пород от опоки к кварцевому песку.

Бассейн реки Свияги расположен в центральной части области. Он включает реку Свиягу, протекающую с юга на северо-восток, а также впадающие в нее река Ерыклинка (с юга-востока) и река Чамбул (с востока). Русла этих крупных водотоков проходят по территории сменяющихся залежей опоки, глинистого песка и опоквидного песчаника. На рассматриваемом участке Свиягу питает также и река Малая Свияга, в которую соединяются два притока, протекающие с запада и с юга на северо-восток, из пласта диатомита мощностью менее 20 м. Вниз по течению в Малую Свиягу впадает река Чечера (с севера), проходящая по глинистому песку. В результате обсуждения выявлено, что *растворимость биогенного кремнезема опал-кristобалитовых пород и факторы, ее определяющие* вполне определенные.

Установлено, что равновесная растворимость исследованных образцов биогенного кремнезема опал-кristобалитовых пород составляет  $52 \pm 2,2$  мг/л, что в 18,6 раз выше растворимости кристаллического кремнезема, но в 2,3 раза ниже истинной растворимости аморфного кремнезема, которая, согласно исследованию [7], составляет 120 мг/л.

Значение равновесной растворимости достигается за 15 дней, затем величина растворимости падает вследствие процессов сорбции и поликонденсации монокремниевой кислоты на поверхности кремнезема до величины  $28,5 \pm 0,7$  (рис.), что согласуется с существующими данными исследования [7].

Установлено, что основными факторами, определяющими величину растворимости биогенного кремнезема, являются геологический возраст породы и среда растворения, содержащая вещества, влияющие на растворимость кремнезема. Данные вещества могут поступать из породы или содержаться в самой среде растворения.

К факторам геологического возраста и среды растворения, влияющим на увеличение растворимости биогенного кремнезема, можно отнести: степень измельчения породы: при возрастании степени измельчения, растворимость увеличивается; значение pH среды растворения (1,0 - 4,2), (<7,7) [7]; наличие органических агентов с 1,2 – дигидрокси-группами, в частности, этиленгликоля, полифенолов - пирокатехина, танина, гуминовых кислот, а также этаноламинов

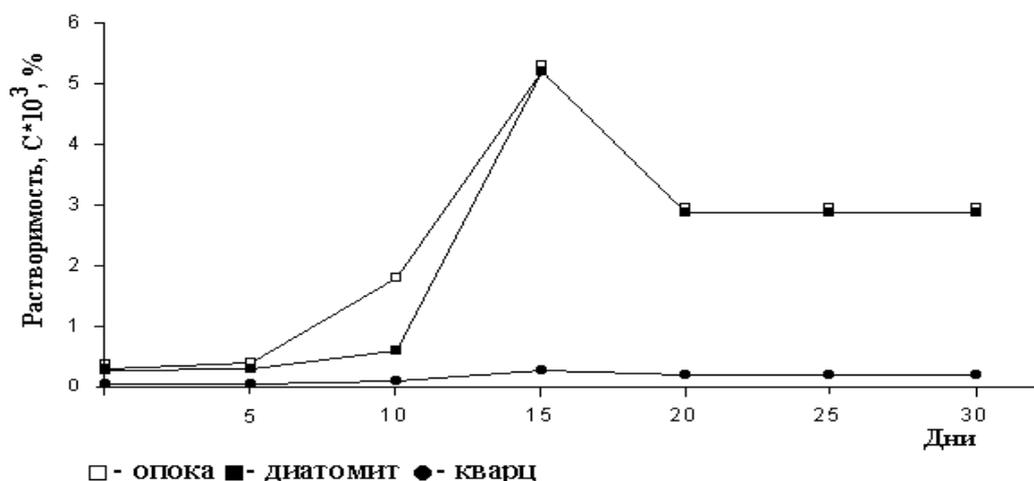


Рис. 1. Динамика процессов растворения и сорбции в системе «SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O» для опоки, диатомита и кварца

[4]; присутствие в среде растворения силикатразрушающих ферментов, либо микроорганизмов, продуцирующих такие ферменты [8-11].

К факторам, уменьшающим растворимость биогенного кремнезема, можно отнести: степень раскристаллизованности кремнезема (с ее ростом растворимость биогенного кремнезема уменьшается); сорбцию и поликонденсацию растворимых форм кремнезема на его поверхности.

Регуляторами содержания кремнезема в растворе также являются соединения алюминия и железа. В анаэробных условиях примесь Fe и Al способствует растворению диатомовых скелетов [4]. В целом же увеличение глинистой фракции в опал-кристаллитовой породе при больших концентрациях в ней кремнезема, как показывают экспериментальные данные, ведет к значительному снижению растворимости кремнезема опал-кристаллитовых пород, выявлены особенности содержания кремнезема в водоёмах области.

Результаты полевых исследований свидетельствуют об аномально высоких значениях концентрации растворимых форм кремнезема в природных водах Ульяновской области, по сравнению с таковыми на территории соседней Республики Чувашии. Если в Чувашии, где опал-кристаллитовые породы практически не распространены, кроме Присурского региона, примыкающего к Ульяновской области, содержание кремнезема в водах составляет 5-16 мг/л [1], то в Ульяновской области оно изменяется от 3 до 55 мг/л.

Было рассмотрено изменение значений содержания растворимых форм кремнезема в обособленных водных системах при движении от истока и родников по течению реки, в зависимости от расположения на определенном типе кремнеземсодержащей породы.

**Бассейн реки Инза.** В истоках Инзы и питающих ее родниках, выходящих из пласта диато-

мита мощностью более 50 м, наблюдается повышенное содержание растворимых форм кремнезема – 32 мг/л (пос. Сосновый бор), 55 мг/л (пос. Папуз-гора), 45 мг/л (с. Междуречье). Поверхностные воды Инзы показывают более низкое значение – 19 мг/л (пос. Папузы), 28 мг/л (пос. Сосновый бор), 27 мг/л (с. Большая Борисовка), 23 мг/л (пос. Подгорный). Подобное понижение концентрации кремнезема может быть связано с несколькими факторами, в частности, с процессами сорбции и коагуляции растворимых форм кремнезема и потреблением их водными организмами, что согласуется с результатами, изложенными в исследовании [4]. Влияние данных факторов особенно характерно проявляется при рассмотрении замкнутых водоемов (например, в водах оз. Юлово содержание растворимых форм кремнезема составляет всего лишь 6 мг/л при расположении его в основании пласта диатомита с мощностью 44 м).

На содержание кремнезема в Эмбелейке (39 мг/л) и Сызганке (35 мг/л), впадающих в Инзу вероятно влияет расположение рек над пластом диатомита мощностью более 50 м. Вследствие этого происходит увеличение содержания кремнезема в поверхностных водах, как с поверхностным, так и с подземным стоками, в растворенном виде и в виде взвешенных частиц.

В местах, где река проходит по месторождениям опал-кристаллитовых пород, выходящим на поверхность, в поверхностных водах наблюдается повышенное содержание растворимых форм кремнезема (30 мг/л, Забалуysкое месторождение). Кроме данного фактора, повышение содержания кремнезема в Инзе по течению реки ниже г. Инза связано с антропогенным аэрозольным переносом диатомита из разрабатываемого двумя комбинатами открытым методом Инзенского месторождения.

Бассейн реки Сура. Эта водная система представлена реками Сурой и Талой. Их русла расположены на песчанике опоковидном, который образуется при обогащении опок обломочным материалом, и кварцевом песке. Подземные воды, питающую Суру и Талу, выходят из опок и диатомитов, с мощностью пласта < 20 м.

Истоки рек и родники (с. Проломиха) показывают высокие значения содержания растворимых форм кремнезема в воде – 42, 40, 32, 33 мг/л. Дождевая и талая вода, просачиваясь через водопроницаемый песчаный слой, доходит до водоупорного пласта опок, соединяется с другими подземными водами и, выходит из-под земли, уже насыщенная кремнеземом, за счет растворения верхнего горизонта опоки. Это положение согласуется с данными [8]. Поэтому родники, расположенные ниже по течению Талы (с. Шлемасс), показывают более низкое значение (30 мг/л) по сравнению с поверхностными водами (47 мг/л).

Закономерное уменьшение значения концентрации растворимых форм кремнезема в воде вниз по течению Талы и в Суре - 47 – 27 - 19 мг/л – связано, прежде всего, с разбавлением высоких концентраций кремнезема и активным размножением диатомовых водорослей при впадении малой реки в большую.

Выше с. Новосурска Сура протекает по опоковидному песчанику, что отражается в сравнительно небольших значениях содержания растворимых форм кремнезема в подземных водах (3 мг/л, с. Беловодье (сероводородная вода), 20 мг/л, с. Горенки) и поверхностных водах (19 мг/л, с. Беловодье).

Бассейн реки Свияга. Состоит из р. Свияги и питающих ее небольших рек - Малая Свияга, Чамбул, Чечера, Ерыклинка и ряд притоков.

Истоки Малой Свияги выходят из диатомита с мощностью пласта < 20 м, сама Свияга и ее притоки проходят, в основном, по опоке, опоковидному песчанику и кварцевому песку.

Истоки Малой Свияги и родники, расположенные на данном участке, показывают высокое значение содержания растворимых форм кремнезема (43 мг/л, с. Старотимошкино), тогда как в поверхностных водах, протекающих по малопроницаемому для воды пласту диатомита, содержание кремнезема более низкое – 31, 31,5, 34 мг/л (с. Старотимошкино), и ниже по течению – 35 и 31 мг/л. Подобная закономерность выявлена нами выше при рассмотрении водной системы Инзы.

Исток Чечеры, питающей Малую Свиягу, выходит из опок, и, протекая по песчанику опоковидному и водоупорному глинистому песку, при впадении в Малую Свиягу, показывает высокое значение содержания растворимых форм кремнезема

– 44 мг/л. Вероятно, это связано с тем, что опоки, как породы с более высокой удельной поверхностью (степенью измельчения), несмотря на более высокую степень раскristализованности, перемежаясь с песком и обломочным материалом, более доступны к растворению, чем пласты диатомита. Растворимость кремнезема опоки, составляющей песчаник опоковидный, также обуславливает величину содержания растворимых форм кремнезема в реках Чамбул и Ерыклинка (24,5 мг/л и 25,5 мг/л). Относительно высокое значение концентрации растворимых форм кремнезема в месте впадения данных рек в Свиягу (с. Хвостиха) тоже связано с растворимостью кремнезема опоки.

При рассмотрении водной системы Свияги в целом выявляется тенденция к снижению содержания растворимых форм кремнезема при движении от истоков реки вниз по течению, последовательно через диатомит (31, 34, 35, 31 мг/л), опоки, опоковидные песчаники (39 мг/л) и пески (28 мг/л).

Бассейн реки Волга. Водная система Волги в рассматриваемой нами области включает реки Волгу, Тушенку, Сирму, Елаурку, Тукшумку, Молвино и мелкие притоки.

Истоки рек Тушенки, Тукшумки и питающие Волгу родники, выходящие из пласта диатомита с мощностью 20-50 м, показывают соответствующие высокие значения содержания растворимых форм кремнезема в воде – 37 мг/л (с. Никольское), 39 мг/л (исток Тушенки), 24, 26, 36,5, 40 мг/л (родники).

Наблюдается закономерное постепенное снижение содержания растворимых форм кремнезема в Тукшумке при переходе от диатомита к песку в поверхностных (37-36,5 мг/л) и подземных водах (25 – 21 мг/л).

Подземные воды, питающие реку Молвино, выпадающую в Тукшумку, вероятно, выходят из пласта диатомита, так как показывают довольно высокое значение содержания растворенного кремнезема – 30 мг/л.

Повышенное содержание растворимых форм кремнезема в притоках Волги в районе населенных пунктов Цемзавода, Шиловки и Сенгиля (27, 29, 33, 35 мг/л) может быть связано с аэрозольным переносом из открытого Сенгилеевского месторождения и из мест, где диатомит выходит на поверхность.

Поверхностные и подземные воды Сирмы и Елаурки, протекающие по песку, показывают близкое между собой по значению, более низкое содержание растворимых форм кремнезема, по сравнению с Тушенкой и Тукшумкой. Между тем, родники, питающие Елаурку и выходящие из пласта диатомита, показывают более высокое значение – 29 мг/л.

Таким образом, при рассмотрении изменения содержания растворимых форм кремнезема в водоемах Ульяновской области был выявлен ряд закономерностей:

- опал-кристаллитовые породы оказывают влияние на содержание растворимых форм кремнезема в природных водах, контактирующих с ними;

- повышение содержания растворимых форм кремнезема в поверхностных водах вблизи разрабатываемого открытым методом и открытого месторождений опал-кристаллитовых пород связано с антропогенным аэрозольным переносом;

- низкое содержание растворимых форм кремнезема в воде в больших реках связано с разбавлением высоких концентраций кремнезема и активным размножением диатомовых;

- в истоках рек и питающих их родниках, выходящих из пласта диатомита, а также в поверхностных водах, проходящих по пласту диатомита, наблюдается повышенное содержание растворимых форм кремнезема;

- опоки, как породы с более высокой удельной поверхностью (степенью измельчения), несмотря на более высокую степень раскристаллизованности, перемежаясь с песком и обломочным материалом, становятся доступными к растворению;

- поверхностные и подземные воды, протекающие по песку, показывают более низкое содержание растворимых форм кремнезема.

В целом по области наблюдается общее снижение содержания растворимых форм кремнезема в природных водах при движении от истоков вниз по течению реки с удалением от пласта опал-кристаллитовых пород.

На основании сделанных выводов о влиянии определенного типа кремнеземсодержащих пород на содержание растворимых форм кремнезема в природных водах была установлена зависимость между содержанием растворимых форм кремнезема в подземных водах и типом питающей их кремнеземсодержащей породы. Для этого было рассчитано среднее значение содержания растворимых форм кремнезема в подземных водах для диатомита (35 мг/л), опоки (33 мг/л), кварцевого песка (30 мг/л). При установлении зависимости количественной характеристикой типа породы послужила массовая доля аморфной кремнекислоты, выступающая как фактор изменения степени раскристаллизованности породы. Согласно [5], среднее значение массовой доли аморфной кремнекислоты для опал-кристаллитовых пород Ульяновской области составляет: для диатомита – 1, для опоки – 0,6, для кварцевого песка – 0.

Из полученных данных следует, что при увеличении массовой доли аморфной кремнекисло-

ты, с повышением степени раскристаллизованности, при увеличении геологического возраста породы в ряду: диатомит, опока, кварцевый песок, происходит снижение содержания растворимых форм кремнезема в питающихся подземных водах.

Зависимость среднего содержания растворимых форм кремнезема в подземных водах  $C$ , мг/л от массовой доли аморфной кремнекислоты в породе  $w$  линейна, и может быть выражена уравнением:  $C(w) = 5 \cdot w + 30$ . Коэффициент корреляции при этом близок к единице.

Была исследована зависимость содержания растворимых форм кремнезема в подземных водах от мощности пласта диатомита, их питающего. Данные по мощности пласта диатомита возле точек отбора проб подземных вод, питающихся от пласта, были взяты из карты продуктивного пласта нижнесызранского палеогена Ульяновско-Куйбышевского Поволжья.

Нами было установлено, что с увеличением мощности пласта диатомита,  $l$ , м, содержание растворимых форм кремнезема в подземных водах,  $C$ , мг/л, возрастает. Данная зависимость может быть выражена уравнением  $C(l) = 4,88 \ln(l) + 18,63$ .

Найденная зависимость позволяет использовать ее в практических целях, для оценки в первом приближении мощности пласта диатомита по величине растворенных форм кремнезема в подземных водах.

Следует подчеркнуть, что результаты исследований, изложенные в работе, свидетельствуют об участии осадочных опал-кристаллитовых пород в динамическом звене круговорота кремния. Опал-кристаллитовые породы влияют на содержание растворимых форм кремнезема в природных водах, контактирующих с ними. Оно увеличивается с ростом мощности пласта опал-кристаллитовой породы и возрастанием в породе массовой доли аморфной кремнекислоты. Вклад в содержание растворимых форм кремнезема в природных водах вносят не только подземный и поверхностный стоки, но и аэрозольный перенос из разрабатываемых открытым методом месторождений опал-кристаллитовых пород, что подчеркивает роль антропогенного фактора в происходящих геохимических преобразованиях Земли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: Учебное пособие для геогр., био., геолог., с.-х. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1998. 413 с.: ил.
2. Айлер Р.К. Химия кремнезема: в 2 ч. М.: Мир, 1982. 1127 с.
3. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.

4. *Убаскина Ю.А.* Разработка методов синтеза органических производных кремния на основе биогенного кремнезема: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. М.: Изд. МПГУ, 2003. 20 с.
5. Кремнистые породы СССР [под ред. У.Г. Дистанова]. Казань: Тат. кн. изд-во, 1976. 412 с.: ил.
6. *Григорьев П.Н. Матвеев М.А.* Растворимое стекло. М.: Промстройиздат, 1956. 444 с.
7. *Айлер Р.К.* Коллоидная химия кремнезема и силикатов. Пер. с англ. А.Н. Бейковой и др. [под ред. проф. И.А. Торопова]. М.: Госстройиздат, 1959. 288 с.
8. *Алексеев В.А.* Экологическая геохимия: Учебник. М.: Логос, 2000. 627 с.

## INFLUENCE OF OPAL-CRISTOBALITE ROCKS ON THE CONTENT OF SOLUBLE FORMS OF SILICA IN NATURAL WATERS

© 2011 E.N. Ofitserov<sup>1</sup>, G.K. Ryabov<sup>2</sup>, J.A. Ubaskina<sup>2</sup>, A.B. Klimovsky<sup>3</sup>, E.G. Fetjuhina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow

<sup>2</sup> Research and Technology Centre Ltd., Ulyanovsk

<sup>3</sup> Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk

The influence of opal-cristobalite rocks of Ulyanovsk-Kuibyshev Volga region of Paleogene Period on the content of soluble forms of silicon in natural waters is considered. The contribution of superficial, underground drains and aerosol carrying over is estimated. It is established that with the increase of mass fraction of amorphous silica in rock and enhance of a thickness of a layer of rock, the content of soluble forms silica in the natural waters contacting to rock increases.

Key words: opal-cristobalite rocks, silica, natural waters.

---

*Evgenie Ofitserov, Doctor of Chemistry, Professor, Dean.*

*George Ryabov, Candidate of Technics, Associate Professor, Director on a Science and Scientific and Technical Development. E-mail: ryabov.g@mail.ru.*

*Julia Ubaskina, Candidate of Chemistry, the leading expert. E-mail: baseou@mail.ru.*

*Andrey Klimovsky, Candidate of Physics and Mathematics, Professor at the Physics Department.*

*E-mail: andrew@klimovsky.ru.*

*Ekaterina Fetjuhina, Leading Expert.*

*E-mail: kato-cat@yandex.ru.*