

УДК 546. 212:[546.42:546.41]:[612.392.3:613.31](470.11)

СТРОНЦИЙ В ИСТОЧНИКАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

© 2012 г. Е. В. Полякова

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск

Известно множество факторов окружающей среды, негативно сказывающихся на здоровье человека. Для территории Архангельской области как северного региона страны наиболее важными являются дефицит тепла и освещенности, резкая смена фотопериодичности и напряженный иономагнитный режим из-за близости магнитного полюса Земли [7]. Немаловажный фактор, воздействующий на здоровье человека, – качество потребляемой питьевой воды. По данным Всемирной организации здравоохранения, примерно 25 % всех болезней обусловлено загрязнением окружающей среды и в значительной степени воды, используемой в питьевых целях [3].

Основным источником централизованного водоснабжения в Архангельске и Архангельской области является р. Северная Двина, в которую поступают сбросы целлюлозно-бумажных комбинатов Республики Коми, Вологодской области и двух комбинатов Архангельской области. Таким образом, река в принципе не должна быть источником питьевого водоснабжения. По данным Управления Роспотребнадзора по Архангельской области, поверхностные водонисточники, относящиеся к бассейну Северной Двины, не соответствуют гигиеническим нормативам по санитарно-химическим и микробиологическим показателям (региональный доклад «О качестве питьевой воды в Архангельской области» от 23.04.2010) [20].

В то же время на территории нашей области имеются достаточно обширные запасы пресных подземных вод, приуроченных к Северодвинскому артезианскому бассейну [16]. Однако значительная часть этих вод, удовлетворяющих по основным показателям СанПиН 2.1.4.1071-01 «Вода питьевая», является некондиционной в отношении стронция. Концентрации его в источниках, используемых для водоснабжения ряда городов и районных центров области (Мезень, Каменка, Карпогоры, Двинской Березник, Шенкурск, Вельск), существенно превышают предельно допустимые нормы (для пресных вод – 7 мг/л).

Распределение стронция в подземных водах Архангельской области. В подземные воды стронций попадает в процессе растворения и выщелачивания горных пород. На территории области установлена неравномерность распределения стронция в горных породах (табл. 1). Наиболее низкие содержания характерны для областей развития песчано-глинистых отложений венда (V), карбонатных пород среднего и верхнего карбона (C_{2+3}) и ассельского яруса нижней перми (P_1a), а также для четвертичных образований (Q). Наиболее высокие концентрации элемента характерны для доломитов и известняков сакмарского яруса нижней перми (P_1s), алевролитов-мергелевых отложений уфимского яруса верхней перми (P_2u), известняков казанского яруса верхней перми (P_2kz) и мергелей и алевролитов нижнетатарского-верхнеказанского яруса верхней перми ($P_2t_1-kz_2$).

На территории Архангельской области установлено достаточно много факторов, негативно влияющих на здоровье человека. Одним из них является качество потребляемой питьевой воды. В подземных водных источниках, используемых для централизованного водоснабжения ряда городов и районных центров области, широко распространен стабильный стронций. Являясь биологически активным элементом, он оказывает влияние на костную ткань человека. Соотношение кальция и стронция в эксплуатируемых водах может рассматриваться как признак экологического неблагополучия территории и определять потенциальную возможность проявления урвской болезни. **Ключевые слова:** стронций, подземные воды, соотношение кальция и стронция, урвская болезнь.

Таблица 1
Содержание стронция в горных породах, подземных и поверхностных водах Архангельской области

Водоносный комплекс	Литологический состав пород	Среднее содержание стронция		
		Горные породы, мг/кг	Подземные воды, мг/л	Поверхностные воды, мг/л
P ₂ t ₁ -kz ₂	Мергели и алевролиты с прослоями глин, известняков, песчаников	2000	7	2,6
P ₂ kz	Известняки с прослоями мергелей и песчаников, мергели	2400	20	4,5
P ₂ u	Алевролиты, мергели	452	5	2,7
P ₁ s	Доломиты и известняки с прослоями гипсов, гипсы и ангидриты	1006	7	3,5
P ₁ a	Доломиты с прослоями известняков, гипсов и песчаников	363	2	0,5
C ₂₊₃	Известняки, доломиты	71	0,7	0,5
Vpd	Песчаники, аргиллиты, алевролиты	10	0,5	0,1

Соответственно подземные воды, приуроченные к отложениям венда, карбона и ассельского яруса нижней перми, характеризуются минимальными концентрациями стронция. В пермских водоносных комплексах содержания элемента возрастают в 3–8 раз. В Архангельской области аномально высокие (до 50 мг/л и выше) значения стронция отмечаются в районе нижнего течения р. Мезени (район г. Мезень, пос. Каменка). Здесь эксплуатируется водоносный горизонт карбонатных отложений казанского яруса верхней перми. Водоснабжение г. Мезень осуществляется 18 одиночными скважинами, 5 из них имеют повышенные относительно предельно допустимых концентраций содержания стронция. Это скважины южной окраины пос. Малая Слобода с содержаниями стронция от 9 до 17 мг/л, а также скважина в центральной части города с максимальным содержанием элемента – 38 мг/л. Водоснабжение пос. Каменка осуществляется 7 одиночными скважинами. Все они имеют повышенные содержания стронция от – 7,5 до 46,0 мг/л.

Содержание стронция в поверхностных водах Архангельской области практически полностью повторяет характер его распределения в подземных водах [18] (см. табл. 1).

Общие сведения о влиянии стронция на организм человека. В настоящее время накоплен обширный материал о миграции химических элементов по различным биологическим цепочкам, об уровнях всасывания, распределения, кинетике накопления и выведения их из организма человека.

Стронций является биологически активным элементом и играет существенную роль в организме человека. Он участвует в процессах свертывания крови и некоторых ферментативных реакциях в ка-

честве ингибитора или активатора [11]. Но основное воздействие стронций оказывает на костно-суставную систему человека. Попадая в организм, элемент включается в обмен веществ, изоморфно замещая кальций в гидроксилapatитовой молекуле костной ткани. Это может привести к изменению структурной организации костно-суставной системы в целом.

В структуре костной ткани человека примерно 70 % приходится на гидроксилapatит Ca₅(PO₄)₃(OH). Это в среднем составляет 6 кг веса. Особенностью кристаллической структуры апатита является положение кальция в двух структурных позициях, обуславливающих возможность его замещения примерно 20 элементами: Sr, U, Th, Ba, Na, Mn и другими, но в первую очередь стронцием в силу его изоморфизма с кальцием. Именно эти замещения традиционно исследуются медиками и биологами при возникновении многих заболеваний костно-суставной системы (артрозы, артриты, остеопорозы, остеохондрозы и пр.).

Наиболее известным эндемичным заболеванием костной системы, связанным с дисбалансом поступающих в организм человека элементов, является так называемая урвовская болезнь, или болезнь Кашина – Бека. Она отмечена свыше 150 лет назад (1849) у людей, живущих по р. Уров, но наиболее подробно описана Н. И. Кашиным (1895) и в особенности Е. В. Беком (1906), который назвал ее «эндемическим деформирующим остеоартритом». Данное заболевание распространено в основном среди населения Восточной Сибири (Читинская и Амурская области), северных районов Кореи, Китая, Северного Вьетнама. Сходные болезни известны на Ближнем Востоке и в Швеции.

Основными симптомами болезни являются поражения костно-суставной системы, выражающиеся в утолщении суставов кистей, короткопалости, ограничении движений суставов, атрофии мышц, искривлении позвоночника и утолщении его позвонков, низкорослости (рис. 1). Заболевание начинается обычно в период роста организма и реже у лиц старше 20 лет. С возрастом костно-суставные изменения увеличиваются и приводят к резко выраженной деформации всего скелета, но главным образом конечностей [5].



Рис. 1. Поражение суставов верхних конечностей при урвовской болезни

В. В. Ковальский [10] и другие авторы изучали «стронциевые провинции» на юге и севере Таджикистана. Ими были обнаружены «эндемические хондродистрофии», проявляющиеся, в частности, в низкорослости, короткорукости и короткопалости.

В настоящее время признанием пользуется биогеохимическая теория происхождения уровской эндемии, согласно которой причиной возникновения болезни является дисбаланс экзогенно поступающих в организм макро- и микроэлементов. Ряд авторов [9, 12] видят причину в недостатке либо избытке кальция и фосфора как основных остеотропных элементов, а также рассматривают их соотношение. Другие отмечают помимо кальция и фосфора роль марганца в формировании заболевания [6, 19].

А. П. Виноградов [4] высказал гипотезу, объясняющую болезнь недостатком кальция при некотором избытке стронция в компонентах ландшафта. По мнению В. В. Ковальского, разделявшего эту гипотезу, причиной заболевания может быть не только избыток или недостаток определенных химических элементов в цепи, но и их дисбаланс. Этот вывод отражает использование в качестве гидрогеохимической предпосылки эндемии Ca/Sr, значение которого меньше 100 рассматривается как признак неблагоприятия территории в отношении уровской болезни.

При исследовании геохимических особенностей природных вод Уровского биогеохимического района Л. В. Замана и Н. М. Гладкая [8] обратили внимание на повышенное содержание стронция в костях уровских больных. Уровни данного элемента в водах района составляли 0,01–1,67 мг/л, а в очагах эндемии не превышали 1,0 мг/л, но значение Ca/Sr при этом нередко было меньше 100. Причина здесь в опережающем росте концентраций стронция по сравнению с кальцием, в большинстве случаев за счет выщелачивания стронцийсодержащего апатита.

А. П. Авцын обращает внимание на сопоставление так называемого стронциевого рахита и типичной болезни Кашина – Бека: «Не исключено, что уровская болезнь может быть особо тяжелой формой стронциевого рахита, развивающегося в крайне неблагоприятных климатических условиях» [1].

В. И. Лебедев и Н. И. Краснова [14] при изучении влияния фосфорных удобрений на организм человека и животных выделили категории, в которые попадают территории с разной экологической ситуацией в зависимости от величины соотношения кальция и стронция. К категории «экологическое бедствие» относятся территории с Ca/Sr меньше 1, к категории «чрезвычайная экологическая ситуация» – Ca/Sr от 1 до 10 и «относительно нормальная экологическая ситуация» – с Ca/Sr больше 100.

С. Р. Крайнов и В. М. Швец [13] также отмечают важность биогеохимического значения величины Ca/Sr подземных вод. Использование подземных вод с малым (меньше 100) значением этого показателя может привести к возникновению среди населения уровской эндемии. При одновременном

в кинетическом отношении переходе стронция и кальция из осадочных пород должны формироваться подземные воды с величиной Ca/Sr порядка $n \times 100$. В реальных подземных водах изменчивость этих соотношений гораздо большая. В грунтовых водах соотношение изменяется от 5 в подземных водах зон целестиновой минерализации до $n \times 100$ в более минерализованных водах аридной зоны. В пластовых и трещинно-жильных маломинерализованных напорных водах величина Ca/Sr изменяется от $n \times 10$ до $n \times 100$. Причины таких изменений заключаются преимущественно в вариациях геохимических особенностей водовмещающих пород (наличие в них гипса, целестина и т. д.).

Соотношение кальция и стронция в подземных водах Архангельской области. В связи с тем, что на территории Архангельской области обнаружены повышенные концентрации стронция в подземных водах, теоретически можно предположить наличие предпосылок для развития заболеваний, схожих с уровской эндемией. Поскольку установлено, что Ca/Sr меньше 100 рассматривается как признак экологического неблагоприятия территории, интересным представилось проследить его значения в подземных водах области. Для этого вначале было подсчитано отношение концентраций кальция и стронция для общего количества проб воды по каждому водоносному комплексу [18]. Затем выделены пробы с величинами Ca/Sr больше и меньше 100 и вычислены их средние значения. Результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2
Соотношение кальция и стронция в подземных водах Архангельской области

Водоносный комплекс / общее количество проб	Среднее значение / количество проб	
	Ca / Sr > 100	Ca / Sr < 100
P ₂ kz / 124	256 / 7	9,5 / 117
P ₂ u / 9	0 / 0	60 / 9
P ₁ s / 12	1552 / 2	80 / 10
P ₁ a – C ₂₊₃ / 48	7617 / 42	63 / 6
V / 9	922 / 3	26 / 6

На основании полученных значений можно выделить территории, на которых проявление заболеваний костно-суставной системы, имеющих сходные с уровской болезнью симптомы, наиболее вероятно. Для Архангельской области выделяется три таких района (рис. 2).

К первому (I) району относится территория, где вероятность возникновения заболеваний костно-суставной системы среди населения полностью или практически отсутствует, ко второму (II) – зона с повышенной вероятностью и к третьему (III) – с высокой вероятностью проявлений подобных заболеваний.

Практически всю восточную и северо-восточную части области можно отнести к району I. Административно в эту категорию попадают Приморский, Онежский, Холмогорский, Плесецкий, Няндомский, Каргопольский, Коношский районы. Подземные

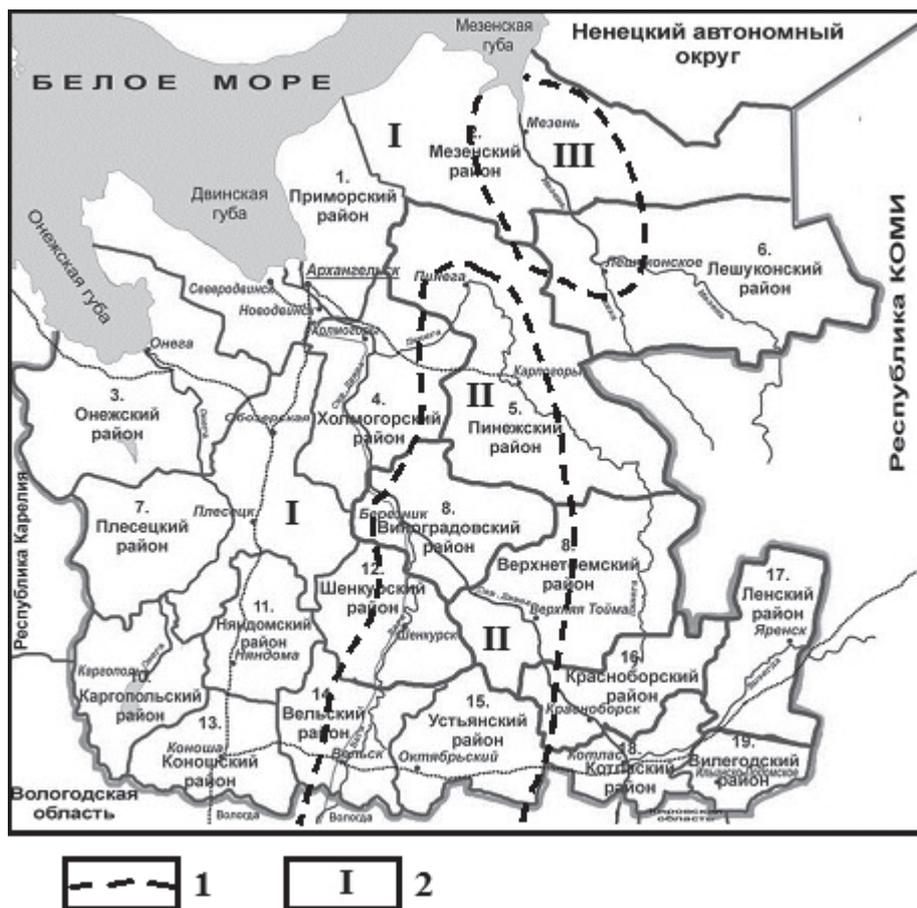


Рис. 2. Районы Архангельской области с различной вероятностью проявлений заболеваний костно-суставной системы: 1 – примерные границы районов; 2 – районы с различной вероятностью проявлений заболеваний

воды данной территории развиваются на отложениях карбона и ассельского яруса нижней перми, а также вендских отложениях. Концентрации стронция в таких водах минимальны и не превышают 2 мг/л. Значения Ca/Sr почти во всех пробах значительно больше 100.

Центральная часть области (Пинежский, Виноградовский, Верхнетоемский, Шенкурский, Устьянский, Вельский районы), район II, характеризуется развитием гипсоносных отложений сакмарского яруса нижней перми и уфимского яруса верхней перми и относится к району с повышенной вероятностью проявлений заболеваний костно-суставной системы. Содержания стронция в подземных водах этих отложений не превышают 7 мг/л, но значения Ca/Sr практически во всех пробах меньше 100, в среднем составляют 80 и 60 соответственно.

Северо-восточная часть области (Мезенский и Лешуконский районы) относится к району III. Здесь развиты казанские карбонатные отложения, обогащенные целестином. В большинстве проб воды г. Мезень и пос. Лешуконское, а в пос. Каменка во всех пробах отмечаются высокие содержания стронция. Соотношение кальция и стронция практически во всех пробах значительно меньше 100 и в среднем составляет 9,5.

Тем не менее однозначный вывод о прямой зависимости проявлений заболеваний костно-суставной системы от уровня загрязнения питьевой воды стронцием делать не следует. Так, например, имеется ряд сообщений о позитивном влиянии стронция на развитие остеозаболеваний, в частности остеопороза (на чем основано широкое использование в последние годы рanelата стронция при лечении остеопороза) [21]. Это связано, по-видимому, с недостаточно широкими пределами концентрации элемента, в которых проводились все исследования [15].

М. В. Барвиш и А. А. Шварц [2] предложили ввести термин «биологически значимая концентрация» для того, чтобы определить содержание, с которого элементы, входящие в состав воды, необходимо учитывать при ее характеристике. Биологически значимая концентрация – это концентрация, при которой поступление элемента в организм с водой может сказываться на общем микроэлементном балансе человека. В основу одного из возможных подходов к определению биологически значимой концентрации авторы предлагают положить результаты статистических исследований среднесуточного потребления человеком различных элементов с пищей, водой и воздухом. За нижний предел биологически значимой концентрации принимается величина, при которой

поступление элемента в организм с питьевой водой составляет 5 % от общего среднестатистического поступления. Ежесуточное потребление питьевой воды принято равным 2 л.

Поскольку содержание стронция в суточном рационе населения предполагается незначительным, возможность повышенного поступления этого элемента в организм людей практически определяется его концентрацией в питьевой воде. Следует отметить, что нижний предел биологически значимой концентрации стронция для питьевой воды составляет 0,05 мг/л. При среднесуточном его потреблении свыше 2 мг у человека повышается риск развития заболеваний костно-суставной системы.

Некоторые рекомендации по использованию стронцийсодержащих подземных вод. С. Р. Крайнов и В. М. Швец в своей работе [13] отмечали, что подземные воды обладают способностью самоочищаться от загрязнений антропогенного и природного происхождения вследствие осаждения нормируемых элементов на геохимических барьерах. Создание искусственных барьеров является принципиально новым способом защиты среды от антропогенного и природного загрязнения, в основе которого лежит использование уже имеющихся в природе возможностей подземных вод к самоочищению. Особое внимание следует уделять формам нахождения химических элементов в миграционном потоке, их относительному количеству и особенностям самой среды миграции, так как именно это во многом определяет процесс осаждения элементов на различных геохимических барьерах.

При создании искусственных барьеров нужно учитывать эффективность действия их природных аналогов [17]. Самыми эффективными были признаны сорбционные барьеры: на них задерживаются практически все нормируемые СанПиН элементы. Таким образом, можно предположить и эффективность действия этих барьеров при очищении природных вод от стронция.

На территории Архангельской области природным сорбционным барьером, возможно, являются глинистые породы верхнеказанского-нижнетатарского водоносного комплекса верхней перми. В подземных водах карбонатных отложений казанского яруса верхней перми средние концентрации стронция 20 мг/л (скважины пос. Каменка), в песчано-глинистых татарских они снижаются до 7 мг/л (скважины г. Мезень). Вероятно, стронций сорбируется на глинистом барьере и его уровни в воде существенно снижаются [18].

Кроме того, по возможности нужно исключить эксплуатацию скважин с высокими концентрациями стронция в воде из системы централизованного водоснабжения населения.

В бытовых условиях необходимо использовать очистные фильтры для воды. В работе [15] указывается на эффективность применения проточного фильтра, сочетающего сорбцию активированным углем с действием природного ионообменника и

сорбента — минерала цеолита. Роль цеолита заключается в том, чтобы не только адсорбировать из воды вредные вещества, но и выделить содержащиеся в нем ионы, несомненно, полезные для здоровья человека. Более высокая селективность цеолита по отношению к стронцию в сравнении с кальцием обеспечивает улучшение Ca/Sr в ходе очистки воды на таких фильтрах.

Список литературы [References]

1. *Avtyn A. P. Urovskaya bolezn' (Kashina — Beka) [Kashin-Bek disease] // Vvedenie v geograficheskuyu patologiyu. M. : Meditsina, 1972. S. 154–163. [in Russian]*
2. *Barvish M. V., Shvarts A. A. Novyi podkhod k otsenke mikrokomponentnogo sostava podzemnykh vod, ispol'zuemykh dlya pit'evogo vodosnabzheniya [New approach to assessment of microcomponent composition of underground waters used for drinking water supply] // Geoekologiya. 2000. N 5. S. 467–473. [in Russian]*
3. *Binenko V. I. Ekologo-khimicheskie aspekty ukhudsheniya sostoyaniya zdorov'ya lyudei [Ecologo-chemical aspects of human ill health] // Ekologicheskaya khimiya. 2003. N 12 (4). S. 256–268. [in Russian]*
4. *Vinogradov A. P. Biogekhimicheskie provintsii i ikh rol' v organicheskoi evolyutsii [Biogeochemical provinces and their role in organic evolution] // Geokhimiya. 1963. Vyp. 3. S. 945–959. [in Russian]*
5. *Vliyanie biogekhimicheskogo okruzheniya na proyavlenie Urovskoi Kashina — Beka boleznii [Impact of biogeochemical environment on Kashin-Bek disease manifestation] / pod red. A. V. Voshchenko. Chita : Izd-vo ChGMI, 1984. 100 s. [in Russian]*
6. *Voshchenko A. V., Sedov K. R., Ivanov V. N. Biogekhimicheskaya kontseptsiya proiskhozhdeniya boleznii Kashina — Beka [Biogeochemical concept of Kashin-Bek disease origin] // Byulleten' Sibirskogo otdeleniya AMN SSSR. Novosibirsk, 1988. Vyp. 3. S. 81–86. [in Russian]*
7. *Dobrodeeva L. K. Ekologo-fiziologicheskie podkhody v reshenii voprosov raionirovaniya severnykh territorii [Ecologo-physiological approaches in solution of problems of northern territories division into districts] // Ekologiya cheloveka. 2010. N 10. S. 3–11. [in Russian]*
8. *Zamana L. V., Gladkaya N. M. Geokhimicheskie osobennosti prirodnykh vod Urovskogo biogekhimicheskogo raiona [Geochemical features of natural waters of Urovsky biogeochemical district] // Geokhimiya. 1993. Vyp. 2. S. 269–280. [in Russian]*
9. *Ivanov V. V. Ekologicheskaya geokhimiya elementov [Ecological geochemistry of elements]. M. : Nedra, 1994. 416 s. [in Russian]*
10. *Koval'skii V. V. Geokhimicheskaya ekologiya [Geochemical Ecology]. M. : Nauka, 1974. 280 s. [in Russian]*
11. *Kononskii A. I. Biokhimiya zhivotnykh [Animal Biochemistry]. M. : Kolos, 1992. 520 s. [in Russian]*
12. *Kravchenko S. M. Kal'tsii-fosforное otnoshenie v geokhimicheskikh landshaftakh i ego vliyanie na zdorov'e cheloveka [Calcium-phosphorus correlation in geochemical landscapes and its impact on human health] // Geoekologiya. 1998. N 1. S. 30–36. [in Russian]*
13. *Krainov S. R., Shvets V. M. Geokhimiya podzemnykh vod khozyaistvenno-pit'evogo naznacheniya [Geochemistry of service-drinking underground waters]. M. : Nedra, 1987. 237 s. [in Russian]*

14. *Lebedev V. I., Krasnova N. I.* Ekologicheskie problemy primeneniya fosfornykh udobrenii [Ecological problems of phosphoric fertilizers' application] // Acta Universitatis Wraclaviensis. N 1607. Wroclaw, 1995. P. 137–142. [in Russian]

15. *Makovsky R. D.* Zdorov'e naseleniya i okruzhayushchaya prirodnyaya sreda regiona [Population health and natural environment of the region] // Ekologiya cheloveka. 2006. N 12. S. 9–11. [in Russian]

16. *Malov A. I.* Podzemnye vody Yugo-Vostochnogo Belomor'ya: formirovaniye, rol' v geologicheskikh protsessakh [Ground waters of South-Eastern district of White Sea region: formation, role in geological processes]. Yekaterinburg : UrO RAN, 2003. 234 s. [in Russian]

17. *Perel'man A. I.* Geokhimiya [Geochemistry]. M. : Vysshaya shkola, 1989. 423 s. [in Russian]

18. *Polyakova E. V.* Strontsiisoderzhashchie vody Yugo-Vostochnogo Belomor'ya [Strontium-containing waters of South-Eastern White Sea region]. Yekaterinburg : UrO RAN, 2009. 102 s. [in Russian]

19. *Rosin I. V.* O bolezni Kashina – Beka [About Kashin-Bek disease] // Revmatologiya. 1990. Vyp. 1. S. 63–66. [in Russian]

20. Sostoyaniye i okhrana okruzhayushchei sredy Arkhangel'skoi oblasti v 2010 godu. [State and protection of Arkhangel'sk region environment in 2010]. Arkhangel'sk : Izd. tsentr SGMU, 2010. 320 s.

21. *Toroptsova N. V., Korotkova T. A.* Strontsiya ranelat v lechenii osteoporozha: dokazatel'stva effektivnosti [Strontium ranelate in treatment of osteoporosis: evidence of effectiveness] // Nauchno-prakticheskaya revmatologiya. 2010. N 1. S. 19–23. [in Russian]

STRONTIUM IN WATER-SUPPLY SOURCES OF ARKHANGELSK REGION AND ITS IMPACT ON HUMAN HEALTH

E. V. Polyakova

Institute of Ecological Problems of the North Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Arkhangel'sk

On the territory of the Arkhangel'sk region, many factors of negative impact on human health have been established. One of them was quality of consumed drinking water. In the water sources used for centralized water supply of some cities and district centers of the region, stable strontium is widely spread. Being a biologically active element, strontium influences human bone tissue. The relation of calcium to strontium in maintained waters can be considered as a sign of ecological trouble on the territory and can determine potential possibilities of manifestation of Kashin-Bek disease.

Keywords: strontium, underground waters, relation of calcium to strontium, Kashin-Bek disease

Контактная информация:

Полякова Елена Викторовна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН

Адрес: 163000, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 23

Тел., факс: (8182) 28-76-36

E-mail: lenpo26@yandex.ru