**Стронцийсодержащие питьевые подземные воды Вологодской области и проблемы их использования**

2017

Диплом

Стронций относится к тем элементам, избыточное содержание которых в природных водах создает угрозу для их использования, прежде всего, в качестве питьевой воды. Питьевая вода играет очень важную роль в жизни всех живых организмов, ведь сама эта жизнь, как биологический процесс, обеспечивается за ее счет.

Содержание

Введение

. Проблема стронция в питьевых подземных водах

.1 Обобщенная оценка состояния проблемы

.2 Источники тематической информации

.3 Изученность проблемы в теоретическом аспекте

.4 Проблема стронция за рубежом и в некоторых регионах России

. Материалы и методы исследования

.1 Материалы исследования

.2 Методы исследования

. Геоэкологическая характеристика Вологодской области

.1 Физико-географическая характеристика

.2 Специфика населения

. Стронций в питьевых подземных водах Вологодской области

.1 Региональная экологическая гидрогеохимия элемента

.2 Очистка воды с использованием природных сорбентов

Заключение

Список использованных источников

**Вернуться в каталог готовых дипломов и магистерских диссертаций –**

[**http://учебники.информ2000.рф/diplom.shtml**](http://учебники.информ2000.рф/diplom.shtml)

Введение

Стронций относится к тем элементам, избыточное содержание которых в природных водах создает угрозу для их использования, прежде всего, в качестве питьевой воды. Питьевая вода играет очень важную роль в жизни всех живых организмов, ведь сама эта жизнь, как биологический процесс, обеспечивается за ее счет.

Природные и, в частности, подземные воды-источники питьевой воды, могут идти в употребление двумя известными путями [1]:

без предварительной подготовки, в случае, если вода не содержит каких-либо опасных загрязнителей (что сейчас, к сожалению, редко);

через предварительную подготовку, которая продиктована необходимостью очистки воды в целях сохранения здоровья населения.

Стронций, по причине своего токсического характера, попадает под категорию опасных загрязнителей (элемент и некоторые его соединения имеют классы опасности со II по IV), потому очистка воды в его случае имеет обязательный характер [2].

Высокое содержание стронция в воде имеет, как правило, естественные причины. При поступлении в организм этот биологически активный элемент вызывает деформацию костной ткани в результате изоморфной замены кальция. Если природная питьевая вода содержит отношение кальция к стронцию меньше 100, то ее употребление чревато распространением Уровской эпидемии, или стронциевого рахита. Пить такую воду уже небезопасно. Возникнет необходимость поиска незагрязненных источников, большую важность приобретет вопрос об очистке [3].

Поскольку для стронция характерно естественное превышение допустимых концентраций, он вносит наибольшие трудности в решение проблемы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Если б загрязнение носило антропогенный характер, остановить его было бы проще, путем разъяснительных работ с предприятиям. Но когда загрязнение естественного характера, дело уже сводится к тому, чтоб изучить особенности поведения загрязнителя, которые обусловили данное загрязнение. Эта задача куда более сложная, и в ее решении должен господствовать научный подход. Только выявив особенности поведения элемента (загрязнителя), можно будет грамотно вести с ним борьбу — например, с использованием природных сорбентов, как наиболее безвредных для очистки питьевой воды.

Вологодская область имеет проблемы со стронцием в подземных водах нескольких муниципальных районов: Верховажского, Вожегодского, Грязовецкого, Междуреченского, Сокольского и Тотемского. Во всех этих районах отмечены превышения предельно допустимой концентрации стронция, равной 7 мг/л. Принимая во внимание тот факт, что подземные воды здесь являются одним из главных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а значит, и активно используются, можно судить о важности разрешения вопроса.

Цель исследования — выявить основные эколого-геохимических особенностей поведения стронция в подземных водах Вологодской области и разработать с учетом этих особенностей природный сорбент для очистки питьевой воды от элемента.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

. Собрать тематическую информацию по элементу стронцию и его поведению в подземных водах мира, России и Вологодской области.

. Изучить экологическую гидрогеохимию элемента в подземных водах Вологодской области.

. Выбрать природные сорбенты для очистки питьевой воды от стронция и обосн6овать данный выбор.

. Приготовить и экспериментально проверить выбранные сорбенты с последующим выявлением лучшего из них.

1. Проблема стронция в питьевых подземных водах

Выявление и изучение эколого-геохимических особенностей поведения того или иного химического элемента, и, прежде всего, токсичного, в той или иной среде — это трудоемкая, но очень необходимая работа. Ее выполнение — есть залог решения многих практических вопросов, актуальных на сегодняшний день, связанных с улучшением экологической обстановки и здравоохранения, увеличением минерально-сырьевой базы, сельскохозяйственного производства и так далее [4].

В выполнении этой работы заинтересованы ученые-геохимики. Геохимия — в общем-то, экологическая наука, так как ее предметом являются связи и отношения в разных системах. Соответственно, и геохимики — ученые экологического направления; они изучают поведение элементов в этих геохимических системах, являющихся в то же время экологическими — воздухе, воде, почвах и земных недрах [Там же].

Каждую геохимическую систему рекомендуется изучать одновременно: лучше делать что-то в отдельности, но синхронно, чем вместе, но последовательно — двигаясь по такой схеме, можно добиться всеобщей выгоды, максимального эффекта в достижении поставленной цели [Там же].

Выбор данного исследования пал на систему «вода», точнее, на ее подсистему — «подземные воды». К подземным водам относят все воды планеты, залегающие ниже поверхности суши (в различных горных породах). Практически все подземные воды можно использовать в качестве питьевых, при необходимости перед этим выполнив очистку. Выбор в пользу именно подземных вод продиктован, с одной стороны, личным интересом исследователя, а с другой — актуальностью их изучения и существованием реальных возможностей для проведения работы.

По части элемента выбор тоже небезоснователен. Задача заключалась в том, чтобы выбрать, во-первых, обязательно токсичный элемент. Ведь изучение токсикантов сегодня не лишено актуальности и, к тому же, придает работе больше смысла; можно, например, не только выявить особенности элемента, но и разработать методы его удаления. Во-вторых, надо было выбрать такой элемент, содержание которого в подземных водах области, хотя бы в нескольких пунктах, превышало установленные нормативы. Излишне говорить о том, что работа теряет смысл, если в ней не рассматриваются именно «проблемные» элементы, такие как стронций.

.1 Обобщенная оценка состояния проблемы

Достаточно сложно судить об изученности стронция в подземных водах планеты в целом. Если взять дальнее зарубежье, то там, по причине мизерного количества найденных книг, ситуация почти неизвестна. Однако, если дать оценку на основе того что есть, можно сказать, ученые успешно решают проблему; качество информации здесь убедительнее количества [5].

Относительно хорошая ситуация складывается в некоторых российских и прирубежных регионах, где есть проблемы с элементом. В качестве примера можно привести Архангельскую область, которая граничит с Вологодской. В первой, нужно отметить, проблема имеет более отчетливый, серьезный характер. Но она также вполне раскрыта. Число публикаций здесь оптимальное и оно соответствует качеству [3].

Вологодская область, как уже было сказано в Ведении, имеет проблемы со стронцием в подземных водах шести муниципальных районов: Верховажского, Вожегодского, Грязовецкого, Междуреченского, Сокольского, Тотемского. Диапазон наблюдаемых высоких концентраций здесь — от 7 до 23 мг/л. И есть еще два района, где обнаружены значения, близкие к ПДК — Вологодский и Харовский (от 5 до 7 мг/л) [6]. Существующие проблемы имеют свои причины, связанные с определенными особенностями.

Но что это за особенности, до конца не ясно. Вологодские ученые мало заинтересованы данной проблемой, поэтому ситуация в регионе пока напряженная. Существующая «литература» представлена в основном ежегодными докладами, справочниками-бюллетенями Департамента природных ресурсов, а также работами молодых исследователей в рамках вуза. Но во всех этих источниках простая констатация фактов доминирует над объяснениями причин, и работы такого уровня раскрывают вопрос очень медленно, постепенно — не так как, например, монографии. Вологодские источники будут отдельно упомянуты в главе 4, в этой же главе они не рассматриваются.

.2 Источники тематической информации

Все доступные источники — и российские, и вологодские, и зарубежные — можно с некой условностью разделить на три группы:

базовые,

избранные;

дополнительные.

К базовым источникам относятся, во-первых, «Методические рекомендации по оформлению выпускных квалификационных работ…» [2]. Согласно им были разработаны структура и стилистика дипломной работы, выполнено оформление. Во-вторых, Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно-допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов…» [7]. Этот документ возглавляет список тематических источников и содержит информацию о ПДК стронция в питьевой воде — 7 мг/л.

Избранные источники содержат в себе основной объем информации по вопросу, и именно они рассматриваются в литературном обзоре. Всего таких источников одиннадцать. Некоторые имеют схожее содержание или взаимно дополняют друг друга — такие упоминаются одновременно, составляют своеобразную тематическую группу.

Дополнительные источники (их большинство) будут упомянуты в других главах. Они, за исключением некоторых, в том числе вологодских, не несут никакой определенно важной для вопроса информации, но позволяют более детально его раскрыть.

В совокупности, имеющихся в распоряжении источников относительно немного. Тех, которые неизвестны и к которым нет доступа, вероятно, гораздо больше. Но малочисленность имеющихся компенсируется их гармонией и отсутствием противоречий. Об этом можно судить, исходя из обзора.

Единственный, вероятно, существенный «минус» источников — их вторичность. Нет сомнений в том, что первоисточники, которые в них упомянуты, но которые, к сожалению, недоступны, содержат в себе больше полезной и актуальной информации.

.3 Изученность проблемы в теоретическом аспекте

Физико-химическая сторона. Работы Н. Чертко, В. Копейкина и В. Макрыгиной излагаются вместе, так как они идейно дополняют друг друга и воспринимаются как единое целое. Эти работы посвящены краткому рассмотрению общих, исходных моментов. Приводятся данные по свойствам химического элемента, особенностям миграции, концентрации, содержанию в различных земных средах (а не только в подземных водах) и в организме человека. Коротко излагаются некоторые экологические аспекты [8-10].

Каждый автор начинает свою речь с описания химической стороны вопроса. Стронций — химический элемент, находящийся в Периодической системе, в главной подгруппе второй группы, в пятом периоде. Порядковый номер его — 38. Стронций окружают такие элементы, как калий, кальций, барий; это его ближайшие «геохимические родственники» — с ними он может встречаться в различных системах [Там же].

Простое вещество, стронций представляет собою мягкий и пластичный щелочноземельный металл серебристо-белой окраски. Химически высоко активен, полиморфен. Известны три его модификации, существующие при различных температурах: кубическая гранецентрированная, гексагональная, кубическая объемно-центрованная [9].

Атомная масса стронция равна 87,6 г/моль. Электронная конфигурация следующая: 1s2 2s2 2p6 3s2 3p6 4s2 3d10 4p6 5s2. 38 электронов располагаются на пяти электронных оболочках, первые три из них укомплектованы, на четвертой имеется десять свободных мест, на пятой — два валентных электрона. Радиус атома стронция — 215 пикометров [10].

Нецелое число атомной массы говорит о наличии изотопов. У стронция имеется четыре стабильных изотопа: Sr84, Sr86, Sr87, Sr88. Последний встречается в природе значительно чаще. Кроме них получено еще 14 искусственных изотопов, самый известный из которых — Sr90, представляющий собой побочный продукт ядерных взрывов [9].

Стронций образует соединения с довольно многими элементами, всегда проявляя двухвалентную связь. Очень хорошо он реагирует с водой, образует гидроксид. Взаимодействуя с кислотами, может вытеснять из их солей тяжелые металлы. В целом хорошо реагирует со всеми кислотами за исключением некоторых концентрированных (например, азотной). Со щелочами же реакции почти не имеет. Энергичны реакции с серой, фосфором и другими неметаллами, галогенами. При высоких температурах возможно взаимодействие с водородом, азотом углекислым газом (при последнем образуется карбид). В нормальных условиях, реагируя с воздухом, металлический стронций быстро покрывается оксидной пленкой [10].

В описании также приводятся некоторые другие свойства элементарного стронция (теплофизические и электрохимические) [8-10]:

Плотность — 2,54 г/см2;

Температура плавления — 1042 К;

Теплопроводность — 300 К;

Молярная теплоемкость — 26,8 Дж/К·моль;

Молярный объем — 34 см3/моль;

Электроотрицательность — 0,95;

Электродный потенциал — -2,89;

в ультраосновных породах — 0,001 %;

в основных породах — 0,044 %;

в средних породах — 0,08 %;

в кислых породах — 0,03 %;

в осадочных породах — 0,045 %.

Известно около 30 стронцийсодержащих минералов. Главные — это целестин (SrSO4) и стронцианит (SrCO3); они имеют очень важное промышленное значение, поскольку именно из них получают большую часть элемента и его солей. В России месторождения стронциевых минералов находятся в Архангельской области, регионах Верхнего и Среднего Поволжья, республиках Башкортостан, Якутия и Крым. За пределами России добыча идет в Великобритании («родина» стронцианита), Германии, Испании, Соединенных Штатах Америки и Мексике [8].

В виде изоморфного включения стронций может входить и в минералы других, «родственных» элементов: калия, кальция, бария. С двумя последними в одном минерале отмечается совершенный изовалентный изоморфизм, а с первым — несовершенный [Там же].

Физические и химические свойства стронция предопределили его особенность накапливаться на многих геохимических барьерах. В системе «природные воды» определяющими из них являются [Там же]:

сульфатный;

карбонатный;

испарительный;

термодинамический.

Первый и второй барьер характеризуется наличием в водах сульфатных и карбонатных ионов, с которыми элемент склонен образовывать комплексы. Третий барьер — испарительный — возникает при недостаточной увлажненности. Стронцийсодержащая вода поднимается вверх и, постепенно превращаясь в пар, высвобождает из себя элемент. При этом могут образоваться некоторые его соли (хлориды или сульфаты). Миграция ранее растворенных в воде соединений прерывается. Интерес представляет нижний тип данного барьера, возникающий на уровне грунтовы0х вод, а также экологическое последствие его работы, проявляющееся в виде засоления почв, а также угнетения обитающих в почве организмов [8].

Термодинамический барьер формируется на участках, где есть резкие перепады температуры или давления. С ними, перепадами, тесно связан газовый состав природных вод. Один из признаков термодинамического барьера — распространенное накопление карбонатов стронция при перемещении растворов гидрокарбонатов из холодных слоев в более теплые, в результате чего выпадает соль SrCO3 (из-за потери CO2) [Там же].

Чертко, Копейкин и Макрыгина единодушны во мнении: стронций проявляет очень высокую подвижность в любой геохимической обстановке; указанные барьеры относятся лишь к подземным водам — если рассматривать все системы, их число будет много больше.

Каждый из авторов трех указанных работ имеет собственную предпочтительную точки зрения, согласно которой рассматривается вопрос. У Чертко она больше эколого-геохимическая, у Копейкина — физико-геохимическая, у Макрыгиной — историко-геохимическая. Благодаря такой разнонаправленности взглядов целостная картина, в конечном счете, получается слаженной и гармоничной, лишенной каких-либо внутренних противоречий.

В справочнике В. Иванова также рассматриваются общие моменты, но уже более подробно, и каждая сторона (геохимическая, экологическая или физико-химическая) отражена в равной степени. Поведение стронция изучено в разных условиях и на разных уровнях, на количественной основе [11].

Иванов на протяжении всей своей речи о стронции постоянно ссылается на кальций, пытаясь подчеркнуть их геохимическое родство. Первый считается геохимическим аналогом последнего. Отмечается и аналогичность некоторых солей этих элементов. Важные кислородсодержащие соли, карбонаты и сульфаты (как кальция, так и стронция), относятся к слаборастворимым в воде. Намного лучше растворяются нитраты, хлориды и гидрокарбонаты. А гидроксид кальция и стронция в воде ведет себя по-разному. Последние растворяются хуже — 8 г/л, при температуре 20 °С. Все из перечисленных стронциевых соединений токсичны (III-IV классы опасности) [11].

Автор приводит данные В. Буркова, из которых следует, что в некоторых маломинерализованных водах (прежде всего, сульфатных, гидрокарбонатных) распределение элемента регулируется произведением растворимости SrCO3 и SrCO4. Приводятся некоторые закономерности. В гидрокарбонатных водах содержание стронция уменьшается с ростом концентрации ионов карбонатов. Высокое содержание ионов сульфатов способствует быстрому осаждению целестина. В хлоридных водах высокое содержание стронция предполагает высокое содержание кальция [Там же].

По данным М. Галицина (приводит, опять же, Иванов), основная форма стронция в грунтовых водах — это ион Sr2+. Сульфаты и карбонаты тоже распространены, но имеют значение только в соответствующих водах (сульфатных и карбонатных), и то при pH > 7,5. Установлено, что в маломинерализованных подземных водах величины стронция изменяются обычно от менее 1 мг/л в зоне достаточного увлажнения до 7,0 и более в аридной зоне. При этом вместе со стронцием растет содержание кальция [Там же].

Таблица 1.3 — Способность стронция к осаждению на геохимических барьерах

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Геохимический барьер | Неорганические формы миграции стронция, способствующие его осаждению на данном барьере | Формы осаждения |
| Сульфатный | Sr2+, SrSO40 | SrSO4 |
| Щелочной карбонатный | Sr2+, SrCO30 | SrCO30,соосаждение с CaCO3 |
| Сорбционный карбонатный | Sr2+ | Соосаждение с CaCO3 |

Галицин и Крайнов выделяют геохимические области стронцийсодержащих подземных вод, ограниченных по площадям распространения гидрокарбонатно-кальциевых и сульфатно-кальциевых вод (последние имеют повышенную минерализацию и жесткость). В пример приведена Казахстанская провинция, где при незначительной общей минерализации величина стронция достигает 10 мг/л, Молдавская провинция — 25 мг/л, Московская — до 20 мг/л. Повышенные концентрации (5-15 мг/л) отмечены также и в подземных водах пермских гипсовых пород Предуралья и, что важнее, Русской равнины, куда входит Вологодская область [11].

Иванов дает понять, что концентрация стронция в воде напрямую связана с ее соленостью. Во всех речных водах содержание этого элемента много ниже ПДК как раз по причине того, что они пресные или имеют малую соленость. Во всех же соленых и в частности подземных водах стронция обычно много. Максимальные содержания при этом характерны для сульфатных и хлоридных подземных вод [Там же].

Большое внимание, по мнению автора, должно быть уделено изучению биохимического аспекта. Сравнительно низкие отношения кальция к стронцию (менее 100) говорят о возможности возникновения Уровской эпидемии, или «стронциевого рахита», которая проявляется в искривлении позвоночника, выпадении зубов, размягчении и снижении прочности костей у животных и так далее. А очень низкие отношения могут свидетельствовать об активной минерализации целестина — основного стронциевого минерала [Там же].

В. Самарина и А. Никаноров, так же как и Иванов, указывают на то, что стронций в ряде параметров имеет много общего с кальцием. Например, указывается, что стронций, как и его геохимический родственник, — это слабый комплексообразователь. Но «в ряде» не означает «везде». Говорится, что первый имеет несколько меньший, чем у кальция, кларк и больший радиус иона. Сравнительно небольшой кларк стронция определяет и его небольшую роль в подземных водах [12, 13].

Называются и еще кое-какие отличия: стронций имеет меньшую энергию гидратации, а следовательно, и несколько большую сорбционную и ионообменную способность. Главное же и весьма существенное, отличие — биологическое — стронций опасен для живых организмов, а кальций, напротив, полезен для них [13].

Самарина называет несколько источников поступления стронция в подземные воды. Все они являются природными образованиями [12]:

магматические горные породы — например, пегматиты;

осадочные горные породы — в первую очередь, гипсово-ангидритовые, где имеется целестин, и карбонатные, где есть стронцианит;

глины — в них стронций находится в сорбированном состоянии.

Автор приводит диапазон содержания стронция в подземных водах — от нескольких единиц мг/л до 200 мг/л — и констатирует его существенный разброс. При этом отмечается, что верхние пределы диапазона обнаруживают в районах распространения изверженных и осадочных горных пород (естественно, обогащенных стронцием) [Там же].

Большой акцент Самарина делает на проблеме распространения в подземных водах радиоактивного изотопа стронция — Sr90. Период его полураспада — примерно 28,5 лет. Неблагоприятное воздействие проявляется в поражении (разрушении, деформации) костной ткани, костного мозга, нарушениях функционирования клеток. Питьевая подземная вода рассматривается как уязвимое звено, то есть она подвержена заражению. По нормам в воде должно быть не более 4 · 10-10 мг/л Sr90 [Там же].

Весомый вклад в изучение гидрогеохимических особенностей стронция внесли ученые С. Крайнов и В. Швец. Их совместные работы посвящены рассмотрению, главным образом, вопросов миграции, распределения элемента в подземной воде. Уделено внимание человеческой составляющей: показано, как могут меняться физико-химические условия миграции под влиянием загрязнения и водоизъятия [14,15].

В речи о стронции авторы обращают, кроме того, и некоторое внимание на процессы перехода его из пород в подземные воды. Занимая изоморфные положения в кристаллической решетке минералов, стронций при взаимодействии воды с породами переходит в первые в результате селективного выщелачивания. Собственные минералы стронция, контактируя с водой, при этом растворяются. И хотя минерал стронцианит является плохо растворимым, его растворимость может весьма увеличиться при понижении pH и увеличении концентрации углекислого газа, так же как и растворимость CaCO3 [14].

Немного лучше растворяется целестин — именно он обуславливает наивысшие концентрации элемента в сульфатных водах. Если говорить в общем, то растворимость целестина растет при наличии в воде катионов и анионов, образующих со стронцием и сульфатом устойчивые комплексы — речь идет о Fe3+ и катионе фульвокислот [14,15].

Ученые приходят к мысли о том, что содержание стронция прямо пропорционально содержанию сульфатов: чем выше вторые, тем выше и первый. Правда, этот закон действует только до некоторого предела: если концентрация вторых превышает 1000 мг/л, то концентрация первого, достигнув некоторой краевой величины, уже не вырастет, а, наоборот — будет опускаться до уровня ПДК (согласно правилу произведения растворимости) [15].

По мнению Крайнова, превышение ПДК стронция в питьевых подземных водах не является чем-то редким. Напротив, это достаточно распространенное явление. Он формулирует две главных причины накопления стронция в подземной воде. Первая связана с испарительной концентрацией грунтовых вод в аридных областях, а вторая — с увеличением минерализации вод при их взаимодействии со стронциевыми минералами [14,15].

Поскольку эти причины-явления хорошо распространены, существует много гидрогеохимических провинций, в которых подземные воды содержат превышения по стронцию. Провинции ранее уже назывались. Характерными чертами их являются распространенность целестина и карбонатных рифовых массивов, породы которых обогащены стронцием.

.4 Проблема стронция за рубежом и в некоторых регионах России

До сих пор приводились данные преимущественно общетеоретических российских источников. В завершении обзора следует еще указать хотя бы на несколько практических примеров: во-первых, на зарубежье, и, во-вторых, на конкретные регионы России.

Зарубежье. О ситуации за рубежом рассказано фактически только в книге Белицкого и Дубровского «Проектирование разведочных эксплуатационных скважин для водоснабжения» [4]. Хотя книга отечественная и, как можно судить уже по названию, не совсем связана с темой, в ней все же есть некоторая полезная для работы информация.

Авторы привели данные исследований В. Книжникова и Н. Новиковой, в ходе которых обнаружены высокие величины элемента в питьевых подземных водах бывших советских республик. Так, например, в городе Баку установлен концентрация 0,8 мг/л, в Кишиневе — от 8 до 12, в Вильнюсе — 0,8, в Киеве — от 0,8 до 1,3 [4]. Все приведенные концентрации приурочены к водам карбонатных пород и обусловлены причинами, о которых ранее говорилось в предыдущих пунктах.

Главная ценность книги заключается в дальнем зарубежье. Авторы указали на то, что значительные величины стронция в некоторых подземных водах характерны для США. Приведены данные М. Николса и Д. Макнолла, согласно которым в водах 380 коммунальных водозаборов Висконсина содержание элемента колеблется от 0,1 до 39 мг/л. Аномальные значения обнаружены на восточном побережье штата [Там же].

Регионы России. В заключении необходимо еще обратить внимание на некоторые из регионов РФ, где существует проблема стронция в питьевых подземных водах. Об одном примере — Архангельской области — уже упоминалось. Теперь рассмотрим его подробнее.

В Архангельской области проблема была достаточно хорошо раскрыта в ряде работ А.И. Малова. Одна из них — статья «Формирование стронцийсодержащих подземных вод в Беломорье» [3] — оказалась доступной для более подробного изучения. Выделена своеобразная геохимическая «микропровинция» — Юго-Восточное Беломорье.

Территория Юго-Восточного Беломорья охарактеризована как неоднородная с точки зрения распределения изучаемого элемента в горных породах и подземных водах. Самые низкие содержания стронция наблюдаются в песчано-глинистых отложениях венда, карбонатных породах среднего и верхнего карбона и в четвертичных образованиях (10-70 мг/кг). Самые высокие содержания отмечены в пермских отложениях (300-2400 мг/кг) [3].

**[Смотрите также:   Дипломная работа по теме "Качество атмосферного воздуха в городах Вологда и Череповец"](https://sprosi.xyz/works/diplomnaya-rabota-na-temu-kachestvo-atmosfernogo-vozduha-v-gorodah-vologda-i-cherepovecz-imwp/%22%20%5Ct%20%22_blank)**

Установлена четкая взаимосвязь между содержаниями элемента в подземных водах и водовмещающих породах. Подземные воды венда и карбона обладают минимальными концентрациями стронция — от 0 до 2 мг/л, воды же пермских отложений, особенно карбонатных казанского яруса — максимальными, примерно до 20 мг/л (в нижнем течении реки Мезень). Можно проследить закономерность: чем выше залегают породы и чем, соответственно, моложе породы, тем больше концентрация элемента и наоборот. Отмечается его тенденция к перераспределению из более древних краевых частей Мезенской синеклизы в более молодые верхнепермские бассейны [Там же].

Были предположены и сформулированы другие факторы, за счет которых идет образование высоких значений стронция в подземных водах Юго-Восточного Беломорья. Помимо возраста и состава пород среди них: фильтрационные свойства пород, мощность четвертичных отложений, химический состав вод, интенсивность подземного стока, карбонатного карста [Там же].

В этом обзоре не случайно рассмотрена именно Архангельская область. Учитывая то, что она граничит с Вологодской, можно делать выводы хотя бы о некотором их геохимическом сходстве, а значит и о возможности применения в исследовании метода аналогий.

Теперь рассмотрим другой пример — Калужскую область, находящуюся на другом краю Московского артезианского бассейна. Ситуация по проблеме хорошо отражена в статье А. Ершова и других авторов под названием «Аномалии природного стронция в питьевых водах Калужской области» [16]. Там описан интересный и довольно редкий случай — в связи с тем и решено было привести данный пример.

Аномальные концентрации элемента (от 15 до 45 мг/л) найдены в южных и северных районах и приурочены к озерско-хованскому комплексу, откуда через так называемые «гидравлические окна» загрязненная вода переливается в более высокие горизонты. Питание водоносного комплекса осуществляется путем инфильтрации атмосферных осадков и разгрузки речных вод. Последняя, вместе с активной эксплуатацией некоторых водозаборов, оказывает существенное влияние на формирование пьезометрической поверхности и напора водоносного комплекса [16].

Интенсивная, если не сказать чрезмерная эксплуатация водозаборов таких городов, как Калуга, Обнинск и Малоярославец привела к отработке емкостных запасов водоносного комплекса и образованию депрессивных воронок, понизивших уровень воды до 40 м. Понижение пьезометрического уровня ниже кровли водоносного горизонта явилось причиной интенсивного растворения минерала целестина [Там же].

Если учесть, что Калужская область относится к Московской «целестиновой провинции», выходные значения элемента действительно получаются аномально высокие. Подземные воды Вологодской области вряд ли обладают этими же особенностями, они достаточно удалены от провинции, но все-таки это не значит, что сами причины аномалий не могут быть похожими.

Одиннадцатый избранный источник (либо тринадцатый в общем счете) был последним в обзоре, теперь его можно закончить. Приведены все известные в науке особенности поведения стронция в различных подземных водах. Стало известно немало, но будет еще больше. Впереди решение самой сложной и в то же время интересной задачи — выяснить, какие же из особенностей имеют проявление на территории Вологодского региона. Лишь учитывая региональные особенности, можно будет судить о восприимчивости элемента к тем или иным сорбентам.

Исходя из всего изложенного, нужно сделать следующие выводы. Вологодская область имеет некоторые места, в которых отмечаются превышения ПДК стронция в подземных водах. И все эти превышения имеют природное происхождение. Естественные превышения ПДК элементов в том или ином регионе напрямую связаны с эколого-геохимическими особенностями их поведения в этом регионе. Изучение особенностей поспособствует накоплению новых знаний об элементах, раскрытию их «сильных» и «слабых» сторон, и это должно быть учтено при выработке методов очистки, в рамках решения проблемы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Принимая во внимание тот факт, что вопрос весьма актуален для Вологодской области, однако при этом (исходя из малого количества литературных источников) практически никак в ее рамках не решается, можно делать вывод о целесообразности проводить исследование в данной области.

. Материалы и методы исследования

.1 Материалы исследования

Прежде всего, стоит подчеркнуть, что объектом данного исследования, в узком смысле, являются все питьевые подземные воды Вологодской области, имеющие в составе стронций, а в более широком смысле — сама область и ее отдельные «проблемные» районы, где отмечены превышения ПДК.

. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Вологодской области Российской Федерации за 2014 год [5];

. Отчет о результатах анализа возможности обеспечения потребности в питьевых подземных водах с. Верховажье Вологодской области [17];

. Отчет по результатам оценочных работ на подземные воды для питьевого водоснабжения по действующим скважинам пос. Вожега Вожегодского района Вологодской области [18];

. Отчет о результатах анализа возможности обеспечения потребности в питьевых подземных водах населенных пунктов Грязовецкого муниципального района за счет действующих артезианских скважин [19];

. Отчет о результатах оценки запасов питьевых подземных вод по действующим скважинам для водоснабжения с. Шуйское Междуреченского района Вологодской области [20];

. Отчет о результатах анализа возможности обеспечения потребности в питьевых подземных водах населенных пунктов Сокольского муниципального района за счет действующих артезианских скважин [21];

. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на питьевые подземные воды для водоснабжения г. Тотьмы Тотемского района [22].

В бюллетене содержатся краткие сведения об участках загрязнения и их местоположению. Указываются сами загрязняющие вещества с измеренными концентрациями. В отчетах же приводятся, главным образом, протоколы испытаний с указанием дат и мест отбора проб, химических веществ и их обнаруженных концентраций.

Вторая группа — материалы кафедры Геоэкологии и инженерной геологии Вологодского государственного университета оригинальные результаты экспедиционных исследований содержания стронция в подземных водах области за 1999-2010 года, изложенные в табличном виде (указаны даты и места отбора, величины концентраций).

.2 Методы исследования

Любое исследование предполагает использование определенных методов, за счет которых осуществляется движение к поставленной цели, выполнение задач. Существуют две группы методов — общенаучная и специальная. Методы первой используют во всех областях науки и в ней различают теоретическую и практическую подгруппы. Теоретические методы, используемые в работе, — анализ, синтез, аналогия, индукция и дедукция. Практические методы — сравнение и эксперимент.

В действительности, теоретические методы — не совсем корректное название. Те из методов, которые включены в эту условную подгруппу, следует называть общелогическими, потому что они одинаково применяются и в теории, и в практике. Но в случае данной работы такие методы как анализ и аналогия задействованы только в теории, поэтому так и называются.

Специальная группа характерна лишь для конкретной научной области. Ее методы в некоторой мере уникальны и не могут встречаться сразу во всех сферах, так как имеют ограниченное использование. К специальным методам относятся описательный географический, картографический и методы ретроспективного анализа и атомно-абсорбционной спектрометрии.

Теоретические методы. Рассмотрим каждый из методов применительно к теме — сначала общенаучные теоретические методы. Анализ представляет собой разложение единой системы на составляющие ее части с последующим изучением каждой в отдельности [23]. Аналитический метод, в любом исследовании, является самым глобальным, используется на протяжении всего периода работ. По сути, он начинается уже с момента формулировки цели. Любая цель всегда содержит в себе некоторые задачи, выполнение которых способствует ее достижению. Если принять цель за систему, то задачи будут ее составными частями — анализ в этом случае состоит в их решении. В рамках этого исследования метод анализа использовался и в менее глобальном ключе — например, при рассмотрении ситуации в отдельно взятых районах Вологодской области, с целью выяснения ее общей картины.

Если наряду с анализом в работе есть синтез, то он может быть как связан с анализом, так и нет. В первом случае, синтез направлен на объединение полученных результатов анализа, и это объединение должно привести к упорядочению имеющихся знаний или выявлению новых [Там же].

Синтез в данной работе — это второй по значимости метод, он начинает свою работу сразу после анализа. Предположим, отдельные части целого уже изучены, но не связаны, и непонятно, что они представляют собою в единстве. Задача синтетического метода — выяснить дело. Он объединяет отдельные части системы, возвращает ей прошлую целостность. Но если раньше об этой системе было известно мало, то теперь она вполне изучена. Более того, целостная картина показала что-то, чего нельзя было видеть ранее, когда она была еще нецелой, и о чем не подозревалось даже при анализе. В этой работе синтез использовался, например, при изучении поведения элемента в подземных водах, которое строится на его эколого-геохимических особенностях.

Как было предсказано, нашел свое применение и метод аналогии. Аналогия заключается в поиске сходства двух предметов по каким-то определенным признакам на основе уже найденных сходств в других [Там же]. Предметами в данном случае являются регионы России, Вологодская и Архангельская области. Они имеют общие черты в ряде природных характеристик — географическое положение, геология и рельеф, внутренние воды и сходство в наличии превышений, по элементу стронцию. Объединив известные общие признаки, можно предполагать существование иных, неизвестных. Если на территориях областей прослеживаются аналогии в геологическом строении и составе подземных вод при обязательном наличии аномалий ПДК элемента, то напрашивается новое сходство: в происхождении этих аномалий.

Индукция — мышление от частного к общему — и дедукция — от общего к частному — не играют существенной роли в работе и используются ограниченно, но все-таки используются. Рассмотрим пример индукции и дедукции в виде простого категорического силлогизма. Сначала — индукция:

в Вологодской области обнаружены высокие концентрации стронция в подземных водах;

кроме того, обнаружены участки распространения целестина;

возможно, высокие концентрации элемента каким-то образом связаны с распространением целестина.

А теперь сделаем инверсию примера и получим дедукцию:

высокие концентрации элемента в подземных водах связаны с распространением целестина;

в Вологодской области есть участки распространения этого минерала;

следовательно, область имеет высокие концентрации стронция в подземных водах.

Применяя индукцию, всегда нужно помнить о нестопроцентной надежности ее вывода. Использовать такой метод — значит, делать предположение, но еще не утверждение. Куда более достоверными являются заключения, выведенные дедуктивно; выводы же индукции малонадежны [23].

Не зря в индуктивном выводе указанного примера есть слово «возможно». Теоретически, нельзя быть уверенным, что большие величины стронция связаны именно с целестином. В этом может быть замешан другой фактор. И этот пример не единственный. По сути, слово «возможно» является неотъемлемым в любом из примеров, где работает метод «от частного к общему» — то есть индукции.

Проверить достоверность или надежность индуктивного вывода можно только практически, с помощью какого-то иного метода, что и было успешно сделано кем-то в нашем примере. На сегодняшний день уже вряд ли кто-либо будет сомневаться в том, что чем больше целестина, тем больше и стронция — это доказанный факт.

Практические методы. Первый из методов практической группы — это сравнение. Сравнение как метод направлен на выявление сходств и различий между отдельными предметами [23]. В этой работе сравнение тесно связано с экспериментом. По качественно-количественному показателю «степень очистки» будут выявлены сходства и различия между сорбентами. Прежде всего, стоит ожидать, конечно же, различий. Какой-то покажет большую эффективность, а какой-то, наоборот, — меньшую.

Эксперимент, или лабораторный метод, предполагает изучение явления в специально созданных контролируемых условиях. Исследователь сам активирует явление, до того, как оно случится в природе (возможно, оно вовсе не случится). Если это необходимо, вносятся изменения в естественный ход явления, например, за счет изменения самих условий или исключения некоторых из них. Специфика эксперимента заключается в активном и непосредственном взаимодействии с объектом. Это — одно из существенных отличий его от простого наблюдения [Там же].

В данной работе эксперимент — один из важнейших методов. С его помощью решается задача, связанная с проверкой на опыте выбранных сорбентов. Именно в эксперименте были созданы условия для очистки водного раствора от химического элемента стронция.

Специальные методы. Наконец, нужно сказать несколько слов о специальных методах. Описательный географический метод был применен в главе «Геоэкологическая характеристика Вологодской области». Суть данного метода заключается в последовательном и плановом изложении существующей ситуации на территории. План описания — это стандарт, поэтому изменения его либо отступления от него нежелательны. Комплексный геоэкологический подход предполагает изложение ситуации в следующей последовательности: природные, климатические условия (географическое положение, геология, рельеф, климат), население, экономика и источники антропогенной нагрузки.

Картографический метод нацелен на создание карты или же серии карт и обозначение на них какого-то явления с целью более быстрого и наглядного его познания. При помощи заранее разработанных, оговоренных условных знаков на картографическую основу наносятся элементы изученной территории. В случае данной работы это будут концентрации химического элемента в питьевых подземных водах разных муниципальных районов.

В ретроспективном анализе, в отличие от простого анализа, всегда учитывается такой фактор как время. Анализируемое явление рассматривается в историческом аспекте. Изучаются его прошлые состояния, которые привели к нынешнему. Суть метода — в установлении причинно-следственных связей. Предполагается, что прошлое состояние — это причина нынешнего, а нынешнее — есть следствие прошлого. На примере работы метод использовался при изучении истории отбора проб со стронцием из отдельных скважин (охвачен промежуток времени с 1999 по 2014 годы).

Сущность атомно-абсорбционного метода излагается в главе 4, поэтому нет необходимости подробно описывать его здесь. Метод применяется в аналитической химии и служит для определения концентраций элемента в прошедших очистку пробах раствора.

На основании изложенной информации о материалах и методах, с помощью которых выполнено исследование, можно сделать выводы о некоторой его специфичности. Специфику, уникальность любого исследования обеспечивают оригинальные и ценные материалы и особое сочетание методов, на основе которых она выполнялась. Здесь есть как первое, так и второе. С одной стороны, оригинальные, неопубликованные источники, а с другой, и что немаловажно, — большое число методов, относящихся к разным группам и подгруппам: теоретической, практической.

Специфику также определяет объект исследования. Он может рассматриваться в широком или узком смысле. Одновременно это и территория, Вологодская область, и ее составная часть, подземные воды. В настоящей главе объект и его «подобъект» были лишь упомянуты, но для успешного изучения экологической гидрогеохимии элемента простого упоминания недостаточно. Нужно сделать их полноценную характеристику.

Исходя из многообразия перечисленных в главе методов (анализа, синтеза, аналогии, эксперимента, сравнения, а также некоторых других), можно говорить о том, что указанная методика достаточна для раскрытия темы исследования, как в количественном, так и в качественном отношении.

3. Геоэкологическая характеристика Вологодской области

.1 Физико-географическая характеристика

Географическое положение. Вологодская область — один из субъектов Российской Федерации, входит в состав Северо-Западного федерального округа и Северного экономического района. Ее территория занимает площадь 145 700 км2. Область образована 23 сентября 1937 года Постановлением Президиума ЦИК СССР «О разделении Северной области на Архангельскую область и Вологодскую область» [24].

Административный центр — город Вологда. Другими важными и крупными городами являются: Череповец, Сокол и Великий Устюг. Административно-территориальная структура региона образована муниципальными районами (26 единиц) и четырьмя городами областного значения — Вологда, Череповец, Сокол, Великий Устюг [Там же].

Рисунок 3.1 — Карта-схема муниципальных районов области.

Область находится на северо-западе Русской равнины и граничит сразу с восемью субъектами — один из наибольших показателей по стране. На севере идет граница с Архангельской областью, на востоке — с Кировской. На юге проходят границы с Костромской, Ярославской областями, на юго-западе — с Тверской и Новгородской. На западе регион граничит с Ленинградской областью и на северо-западе — с Республикой Карелия [24].

Средняя протяженность области с севера на юг равна 300 км, а с запада на восток — 650 км. Последняя весьма значительна. От крайней западной точки региона до Балтийского моря примерно 200 км, а от крайней восточной до Уральских гор не более 600 км. Такое положение области, при котором, с одной стороны не так недалеко до Балтики, а с другой — до Урала, предопределило ее важное транспортное значение [25].

Геология. Геологическое «положение» области можно описать так. Регион расположен к юго-востоку от Балтийского щита, в пределах северо-западной части Московской синеклизы, относящейся к Русской плите. Русская плита, в свою очередь, относится к древней Восточно-Европейской платформе [26].

В структуре упомянутой синеклизы выделяют два этажа. Первый представляет собой кристаллический фундамент, сложенный из архейских и нижнепротерозойских пород; второй — в виде осадочного чехла, состоит из отложений, сформировавшихся в период от верхнего протерозоя до современной, кайнозойской эры [Там же].

Поверхность этажа-фундамента медленно погружается с северо-запада на юго-восток. В районе Онежского озера глубина самая минимальная, около 300 метров. А чем дальше к востоку и юго-востоку, тем она все значительнее. На востоке области вне зоны Средне-Русского авлакогена она достигает 3500 метров, а в пределах этого авлакогена опускается на глубину еще, как минимум, одного километра [Там же].

В строении этажа выделяются обособленные блоки-ядра, различные по крупности, времени возникновения и составу слагающих пород. Между блоками расположены глубинные разломы. Блоковая структура фундамента определила сложный рельеф его поверхности, сочетающий выступы и впадины денудационно-тектонического происхождения [Там же].

Особенности строения этажа-фундамента и его развитие в послепротерозойское время оказали существенное влияние на накопление осадков, формирование второго этажа синеклизы. Вследствие наклона фундамента с северо-запада на юго-восток увеличивалась в этом направлении мощность отложений. В разное время в разных концах области произошло затухание тектонических процессов. Северо-западная окраина раньше освободилась от моря, и потому там распространены более древние отложения. На юго-востоке они значительно моложе [26].

Структуру осадочного чехла образуют несколько этажей [Там же]:

раннебайкальский, или рифейский;

средне- и позднебайкальский, или вендско-нижнекембрийский;

каледонский, или кембрийско-ордовикский;

герцинский, или среднедевонско-нижнетриасовый.

Каждый этаж отделен друг от друга поверхностями размыва и каждому соответствуют те или иные структуры чехла — прогибы, поднятия, валы. Осадочный чехол включает отложения всех возрастов, начиная с верхнепротерозойского и оканчивая четвертичным. Мощность его колеблется от 300 метров в Вытегорском районе, до 3000 и более на востоке. Как и следовало ожидать, мощность осадка обусловлена наклонным положением фундамента [Там же].

Формирование четвертичного покрова связано с периодом глобальных колебаний климата, когда на смену затяжному холоду (ледниковье) приходила длительная жара (межледниковье). В истории Русской равнины, как и Вологодской области, было пять оледенений и четыре межледниковья [Там же].

Сначала было окское оледенение, за ним шли днепровское, московское, калининское, осташковское. Первые два затронули всю территорию области, другие — только частично. После окского ледника наступило лихвинское межледниковье, а после днепровского — одинцовское. За московским ледником шло микулинское межледниковье, за осташковским — молого-шекснинское. Считается, что сейчас идет пятое межледниковье.

Рисунок 4.2 — Карта-схема мощности четвертичных отложений области.

Окские и днепровские отложения сохранились только в глубоких древних речных долинах и на Северных Увалах. Московские отложения повсеместно распространены в центральных и центрально-восточных районах. Калининские и осташковские встречаются лишь на западе [26].

Отложения, сформированные и формирующиеся в современном периоде, голоцене (который начался примерно 11,7 тысяч лет назад), представлены аллювиальными, озерными, делювиальными, эоловыми, хемогенными и наиболее новыми техногенными.

Рельеф. Вологодская область находится на севере обширной Русской равнины и имеет высоту порядка 150-200 метров над уровнем моря. Поверхность территории представляет собой низменность с многочисленными и дискретно расположенными мелкими холмами и грядами [24].

Рельеф западной части территории сформировался в период валдайского оледенения и был преимущественно связан с деятельностью Ладожского и Онежского ледниковых потоков. Он имеет озерно-моренный характер, достаточно хорошо расчленен. Выделяется Прионежская низменность, окружающие ее Мегорская гряда, Андомская, Вепсовская возвышенности. На последней находится самая высокая точка региона — 304 метра [27].

Южнее упомянутых возвышенностей простирается довольно обширная Молого-Шекснинская низменность — значительно заболоченная территория, имеющая комплексное, озерно-водно-ледниковое происхождение. Подле нее находится Андогская гряда. Выше Молого-Шексинской низины располагается Белозерская низменность, окруженная одноименной Белозерской, а также Кирилловской грядой. Восточнее пролегает Кубено-Воже-Лачинская низина.

Рельеф центральной и восточной частей сформировался во времена московского оледенения, под влиянием Онежского и Беломорского ледниковых потоков. Формы рельефа тут более сглаженные и «увалистые», чем на западе. Яркие примеры — болотистая Присухонская низменность, Верховажская, Вологодская возвышенности, Харовская гряда [Там же].

В центрально-южной части находятся участки Даниловской возвышенности, большая часть которой относится к Ярославской области, и Галичской возвышенности, относящейся к Костромской области. Восточная часть Вологодской области покрыта волнистыми, волнисто-увалистыми формами рельефа. На юго-востоке начинаются Северные Увалы.

Климат. Климат Вологодской области — умеренно-континентальный с довольно долгой (около пяти месяцев) холодной зимой и непродолжительным, но теплым летом. В целом, с точки зрения жизни людей, его можно назвать относительно благоприятным.

«Континентальность», а значит, и суровость климата увеличивается по мере движения с запада на восток. На западе средняя температура самого холодного месяца января составляет -11 °С, тогда как на востоке она доходит до -14 °С. Средняя температура наиболее теплого месяца, июля, на западе равна +16 °С, а на востоке +18 °С [24].

Вологодская область известна своей переменчивой погодой: зимой наблюдается оттепель, весной нередки возвращения морозов, в отдельных случаях они даже более сильные, чем в предшествующее время. Неустойчивость погоды связана с особым географическим положением региона, который находится на водоразделе двух океанов — Атлантического и Северного Ледовитого. Они удалены от него примерно на равные расстояния: от западной границы до Финского залива — 200 км, а от северной границы до Онежской губы — 240 км [28].

Влияние океанов на территории области испытывается постоянно. Воздух, идущий обычно в виде циклонов из Атлантики, более теплый; тот, который приходит с Севера, более холодный. Вследствие их попеременной работы и возникает такая ситуация, при которой погода сохраняет непостоянство в течение всего года.

Поверхностные воды. Как уже было сказано в предыдущем пункте, область имеет значительный водно-ресурсный потенциал. Возможно, отчасти это связано не только с большими величинами осадков и малой испаряемостью, но также с ледниковым прошлым (таяние ледников привело к образованию озер).

На водно-ресурсный потенциал оказывает некоторое влияние и «гидрографическое» положение региона. Его территория — место схождения речных систем бассейнов Атлантического, Северного Ледовитого океанов, внутреннего стока Каспийского моря. К бассейну Северного относятся реки: Сухона, Юг и их притоки. Северная Двина незначительна. К Каспийскому морю — реки бассейна Волги: Молога, Шексна, Суда и прочие. Крупнейшей рекой в области является Сухона, ее длина 558 км. По типу питания реки области относятся преимущественно к снеговым, а реже — к снегодождевым и грунтовым. Половина годового стока приходится на май-июнь. Лед на реках держится от 160 до 170 дней (пять месяцев) [24].

Насчитывается около 4000 озер, крупнейшие из них — Онежское, Белое, Кубенское и Воже. Имеются также два водохранилища — Рыбинское и Шекснинское. Болота занимают 12 % площади региона, сосредоточены в основном в западной половине [27].

По территории Вологодской области проходит значительная часть Волго-Балтийского водного пути — протяженной системы рек, озер и каналов, соединяющих Каспий и Балтику. Также проходит Северо-Двинский канал — соединяет реку Шексну (как часть Волго-Балта) с рекой Сухоной.

Волго-Балт идет сначала через Рыбинское водохранилище и доходит до Череповца, затем по реке Шексне — в Белое озеро. Оттуда по реке Ковжа, через Мариинский канал и Вытегру, можно добраться до Онежского озера либо же выйти из реки Вытегры в Онежский канал, за пределы региона [Там же].

**[Смотрите также:   Дипломная работа по теме "Экономико-статистический анализ уровня загрязнения атмосферного воздуха"](https://sprosi.xyz/works/diplomnaya-rabota-na-temu-ekonomiko-statisticheskij-analiz-urovnya-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-imwp/%22%20%5Ct%20%22_blank)**

Подземные воды. Вологодский регион относится к северной части гигантского по размерам и сложного по структуре Московского артезианского бассейна. В вертикальном его разрезе можно увидеть, как меняются по мере глубины свойства подземных вод: скорость движения, минерализация, химический состав [29].

Выделяют три гидродинамические зоны, в каждой из которых скорость движения воды разная. Зона интенсивного водообмена — самая ближняя к поверхности, она находится под влиянием климатических процессов и дренажа речной сети. Вода движется под действием гидростатического напора. Мощность — до 200-400 метров (зависит от глубины вреза речных долин). Наблюдаются наибольшие скорости фильтрации, до 100 мм/год. Полный водообмен совершается за 100-1000 лет (обычно не более) [Там же].

Следующая — зона замедленного водообмена. Располагается ниже всех базисов дренирования и поэтому испытывает влияние только климатических факторов (векового масштаба). Глубина — до 800-1000 м. Скорость движения воды замедлена в связи с малой трещиноватостью и пористостью пород. Водообмен может длиться тысячи лет [Там же].

Самая глубокой является зона пассивного, весьма затрудненного водообмена. Здесь, в наиболее глубоких частях разреза, не прослеживается влияние ни дренажа, ни климата; темпы водообмена практически сравнимы с геологическими эпохами, составляют миллионы лет [29].

В бассейне также выделены гидрогеохимические зоны, где наблюдаются разные степени минерализации. Минерализация вод увеличивается вместе с глубиной их залегания. Одновременно изменяется и химический состав — от гидрокарбонатных и сульфатных кальциевых к хлоридно-натриевым [Там же].

Гидрогеохимическая зональность имеет проявление не только в вертикальном разрезе, но и в пластовом. На западе выявлены участки распространения вод преимущественно гидрокарбонатного класса, в центре — гидрокарбонатного и сульфатного, а на востоке — сульфатного. Из сульфатных преобладают кальциевые воды — они типичные для нижнеустьинского и казанского загипсованных комплексов. Магниевые воды характерны для доломитов. Натриевые воды приурочены в основном к татарским, казанским отложениям и связаны с процессами выщелачивания. Воды хлоридного класса — самые распространенные, они приурочены к зоне пассивного водообмена [Там же].

Для подземных вод Московского бассейна характерны, кроме того, некоторые другие виды зональности [Там же]:

газовая зональность — выражается в постепенной замене с ростом глубины «атмосферных» газов «подземными». «Атмосферные» газы — азот и кислород, «подземные» — метан, водород, сероводород;

гидротермическая зональность — связана с увеличением вместе с глубиной температуры воды. Максимальная температура была зафиксирована на Вологодской опорной скважине на глубине 2200 м, она равна 60 °С.

Подземные воды Вологодского региона встречаются в горных породах всех возрастов, которые удалось вскрыть — от рыхлых четвертичных отложений до архейских пород фундамента. Факторами, оказавшими самое большое влияние на гидрогеологические условия области, стали геологическое строение, рельеф и климат.

Воды четвертичных отложений в основном безнапорные и приурочены ко всем их генетическим типам. В разных районах области выделяют до 10, а иногда и до 15 водоносных комплексов, ограниченных региональными водоупорами — глинами озерного происхождения. Вмещающими породами являются различные пески с примесью гальки, гравия и валунов и прослоями суглинков и супесей. Средняя мощность комплексов — 50 метров [29].

Воды дочетвертичных отложений характеризуются разными степенями напора, химическим составом. Выделяются несколько водоносных, водоносно-водоупорных и один водоупорный комплекс. Подземные воды фундамента изучены слабо. Они имеют трещинный тип, сильно минерализованы [Там же].

Рисунок 4.3 — Карта-схема дочетвертичных водоносных комплексов пород области:

— палеоген-неогеновый; 2 — верхней юры; 3 — нижнего триаса; 4 — верхнетатарских отложений верхней перми; 5 — нижнетатарских отложений верхней перми; 6 — отложений казанского яруса верхней перми; 7 — отложений уфимского яруса верхней перми; 8 — отложений ассельского и сакмарского ярусов нижней перми; 9 — отложений среднего и верхнего карбона; 10 — нижнего карбона; 11 — верхнего девона.

Почвы и биота. Ландшафты. Область располагается в пределах южной и средней тайги, потому почвы здесь в основном дерново-подзолистые и подзолистые, малоплодородные. На отдельных участках можно встретить аллювиальные дерновые, подзолистые глеевые и болотные почвы [30].

Около 75 % площади региона покрывают леса; их наибольшие «концентрации» отмечаются в северо-западных и юго-восточных районах — до 80 %, а наименьшие — в центральных районах, до 50 %. Леса преимущественно хвойно-мелколиственные, на западе — фрагменты широколиственных. Из хвойных пород основными являются ель и сосна, из мелколиственных — береза и осина, из широколиственных — дуб и бук [27].

Наиболее яркие представители животного мира — бурый медведь, лось, кабан и белка. Из птиц можно выделить глухаря, тетерева, кедровку. В реках и озерах водится много рыбы: саамы распространенные — лещ, плотва, судак, окунь, нельма.

Значительная площадь региона определила разнообразие его ландшафтов, или природных комплексов. Выделяются четыре физико-географических области: Северо-Западная, Сухонско-Двинская, Верхневолжская и Северных Увалов. В пределах указанных областей — 30 крупных комплексов [25].

Ландшафты Вологодской области можно классифицировать по различным критериям. В генетическом плане выделяют плоские и террасированные озерно-ледниковые и ледниковые ландшафты, холмистые ледниковые, озерно-холмистые ледниковые, увалистые водно-ледниковые, ледниковые [Там же].

Многие ландшафты и их отдельные составные части — урочища — ввиду особой эстетической и природной ценности сегодня взяты под охрану. Охраняемые участки ландшафтов иначе называются особо охраняемыми природными территориями (ООПТ). В Вологодской области крупнейшими являются национальный парк «Русский Север» и Дарвинский заповедник.

.2 Специфика населения

Численность населения Вологодской области, согласно данным Росстата на 2017 год, равна 1 184 077 человек. Плотность его — 8,19 чел./км2 — близка к общероссийской (8,56 чел./км2). Городское население составляет 72,1 %, сельское соответственно — 27,9 %. Процент сельского населения относительно велик, и не только по меркам федерального округа (Северо-Западного), но и по меркам государства [24].

Население области проживает в 15 городах, 9 поселках городского типа и примерно в 8000 сельских поселениях. 2130 из которых (к настоящему моменту) заброшены. По общей численности населения, плотности, уровню урбанизации Вологодская область занимает в РФ срединные позиции — 42-е, 56-е и 39-е места соответственно (по данным на 2005 год) [31].

Когда-то число жителей региона было существенно большим. Исторический максимум приходится на 1987 г од — 1 355 000 человек. С тех пор население области неуклонно уменьшается. Причины тому следующие [Там же]:

наблюдается отрицательное сальдо миграции, то есть количество иммигрантов, въезжающих на постоянное жительство людей, меньше количества эмигрантов, уезжающих жить в другие регионы;

преобладание смертности над рождаемостью, или по-другому отрицательный естественный прирост. Смертность в 2014 году составила 14,8 ‰, тогда как рождаемость — 13,6 ‰. Естественный прирост -1,2 ‰.

Население региона представлено людьми множества национальностей, однако только одна из них является преобладающей. По данным Всероссийской переписи населения 2010 года, русских в области 1 112 658 человек, или приблизительно 97 % от всего числа жителей. Вологодская область считается самым «русским» регионом России. Имеется один коренной, малочисленный народ — вепсы, исторически проживающий на северо-западе. Верующими являются 57 % жителей, 90 % из них — православные [24].

Отрасли хозяйства. Регион занимает серьезные позиции в экономике России. По последним подсчетам он производит 15 % всей российской стали и 10 % всех минеральных удобрений, 12 % льняных тканей и 7 % деловой древесины. Доля области в российском экспорте — 1,5 % [31].

Валовой региональный продукт (ВРП) в 2014 году составил 388,4 млрд. рублей (на душу населения — 325,8 тыс. рублей). По объему ВРП область находится на 39-м месте среди всех российских субъектов и на седьмом месте в федеральном округе [31].

Основные отрасли специализации — черная металлургия (производство стали, проката) и электроэнергетика. На их долю приходится соответственно 62 % и 8 % от экономики области. Энергетика области представлена, главным образом, Череповецкой ГРЭС, имеющей установленную мощность 630 МВт. Она обеспечивает электроэнергией Вологодский и Череповецкий узлы [24].

Есть и ощутимый вклад пищевой промышленности: производят животное масло, мясо и мясопродукты, молочные и кисломолочные продукты, мукомольные, крупяные, кондитерские изделия. Но наиболее прибыльный сектор образуют металлургия, машиностроение и лесопромышленный комплекс: они формируют экспортную основу и ориентированы на зарубежье.

Вологодская область достаточно интегрирована в мировую экономику. В экономически успешном 2004 году внешнеторговый оборот составил более 3 млрд. долларов, экспортировано продукции на 2,7 млрд. Объем экспорта на душу населения был шестым в РФ и вторым (после Санкт-Петербурга) в Северо-Западном федеральном округе [Там же].

Товарная структура экспорта определяется, в первую очередь, продукцией таких предприятий-гигантов как:

ПАО «Северсталь» — экспортирует стальной прокат, сортовой прокат;

ПАО «ФосАгро Череповец» — минеральные удобрения;

ЗАО «Вологодский подшипниковый завод» — подшипники;

ОАО «Сокольский деревообрабатывающий комбинат» — балки, пиломатериалы, дома из дерева каркасно-панельной, брусовой конструкций.

«Северсталь» довольно долгий период времени играла роль единственного, если можно так выразиться, «экономикообразующего» промышленного предприятия области. Привязанность к черной металлургии хоть и обеспечила, с одной стороны, экономический рост, но, с другой, поставила региональную экономику и связанную с ней социальную сферу в положение зависимости. В настоящий момент наблюдается тенденция к нивелированию отраслей экономики. Возросла роль других производств, в том числе тех, которые специализируются на продовольствии.

Источник продовольствия — сельское хозяйство. В Вологодском регионе главной ее отраслью является мясомолочное скотоводство, дающее региону около 70 % аграрной продукции. Растениеводство базируется на выращивании зерновых, технических культур. В продовольственном отношении население области обеспечено такими продуктами сельского хозяйства как мясо, молоко, яйца, картофель и прочее [24].

Текущая структура регионального рынка выглядит так [31]:

29 % работоспособного населения занято в разных отраслях промышленности: черной металлургии, машиностроении, химическом производстве, лесной отрасли;

18 % — в бюджетной сфере;

17 % — в торговле;

10 % — в сельском хозяйстве;

26 % — в прочих сферах.

До нынешнего дня сохранились некоторые традиционные промыслы, в числе которых резная береста, великоустюгское чернение по серебру, а главное — плетение кружева. Вологодскую область можно назвать кружевной малой «державой» России [24].

Антропогенное воздействие на окружающую среду. Экологическую ситуацию в регионе, обусловленную воздействием человека, можно в целом охарактеризовать как переходную от умеренной к напряженной. Самая сложная обстановка складывается в западной и центральной частях. Здесь наблюдаются повышенные уровни загрязнения атмосферы, водных объектов разными предприятиями, захламления территории отходами производства и потребления.

Оперируя данными статистических отчетностей «2ТП-Воздух», «2ТП-Водхоз» и «2ТП-Отходы», взятых из Кадастра природных ресурсов, перечислим некоторые цифры. В 2015 году суммарный общий выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников составил 461233 тонн (учтены данные 709 организаций, 719 индивидуальных предпринимателей). Число стационарных источников, произведших загрязнение — 14874. По сравнению с 2014 годом общий выброс снижен на 29773 тонн, то есть на 6 %. Главные источники загрязнения — это ООО «Газпром трансгаз Ухта» и филиал ПАО «ОГК-2» Череповецкая ГРЭС [32].

Водоотведение сточных вод осуществляется как в поверхностные водные объекты, подземные участки, так и на свободную от природной воды поверхность. В поверхностные воды осуществляется сброс от 146 предприятий. Наибольшей антропогенной нагрузке подвержены те объекты, на берегах которых располагаются крупнейшие промышленные узлы [Там же]:

Череповецкий узел — реки Кошта, Серовка, Ягорба;

Вологодский узел — реки Вологда, Содема, Шограш;

Сокольский узел — реки Пельшма, Сухона.

Основная масса загрязненных стоков производится в Череповецком узле и идет в Рыбинское водохранилище. Главными загрязнителями вод являются предприятия черной металлургии и химической промышленности ОАО «Северсталь» и ОАО «ФосАгро» [Там же].

В районе Вологды самое ощутимое влияние на водные объекты оказывают предприятия, относящиеся к машиностроению, и организации приборостроительного профиля — ОАО «Вологодский машиностроительный завод» и ЗАО «Вологодский подшипниковый завод» [Там же].

В Сокольском районе доминируют предприятия целлюлозно-бумажной промышленности: ОАО «Сокольский целлюлозно-бумажный комбинат, ОАО «Сухонский целлюлозно-бумажный комбинат». От них идут большие сбросы в реки бассейна Сухоны [Там же].

В 2015 году объем водоотведения всех сточных, ливневых вод области составил 372,21 млн. м3. По сравнению с предшествующим годом он упал на 75 млн. м3, то есть почти на 17 %. В этом же 2015 году объем сброса недостаточно очищенной воды составил 145,08 млн. м3, увеличившись за год на 7,70 млн. м3. Объем нормативно очищенных сточных вод в 2015 году — 28,07 млн. м3 Он упал на 0,3 млн. м3, если сравнивать с предыдущим годом. Общий объем сточных вод, отведенных на свободную поверхность, составил приблизительно 3.7 млн. м3. Общая масса вредных веществ, поступивших со сточными водами в водные объекты, равна 47 900 т — на 6 200 больше, чем в 2014 году. Работы по очистке проводятся более чем на 200 очистных сооружениях, принадлежащих 125 организациям [32].

Что касается отходов, то по данным статистической отчетности за 2015 год, в области их образовалось 16082,72 тыс. тонн. Из них 158 тыс. тонн — это отходы I-III классов опасности (сведения предоставлены от 3039 организаций и индивидуальных предпринимателей). В общем объеме образовавшихся отходов области самую большую долю имеет Череповец — 75 %. За ним следуют Вытегра (10 %), Великий Устюг (5 %), Сокол (4 %), Вологда (2 %), Грязовец (1,5 %) и так далее [Там же].

Деятельность областных предприятий дала к настоящему моменту уже более 107 млн. тонн промышленных отходов. Самые крупные производители — предприятия черной металлургии, химического промышленности. Ежегодно они производят 2/3 всех отходов области [Там же].

В целом по главе нужно сделать следующие выводы. Территория исследования — субъект России Вологодская область, площадью 145 700 км и численностью населения 1 187 000 человек, — одновременно является и объектом данной работы. Прежде чем вести речь об эколого-геохимических особенностях поведения в подземных водах стронция, необходимо было сделать комплексную геоэкологическую характеристику региона, предварительно изучить и раскрыть те его составные части, которые прямо или косвенно связаны с проводимой работой. В первую очередь, это, конечно же, касалось геологии, гидрогеологии. Будет излишним сказать, но без их рассмотрения выполнять основные задачи работы просто нельзя.

4. Стронций в питьевых подземных водах Вологодской области

.1 Региональная экологическая гидрогеохимия элемента

Эколого-геохимические особенности элемента изучаются в рамках раздела геохимии под названием «экологическая геохимия». Экологическая геохимия — это наука, в задачи которой входит выявление закономерностей распределения и миграции химических элементов в пределах сложной, интегрированной оболочки — экосферы. Объединяя другие оболочки, или геохимические системы, экосфера выступает как среда проявления экологических процессов, то есть взаимодействий живой материи (в том числе человека) между собой и/или с неживой природой.

Региональная экологическая гидрогеохимия изучает характер миграции и распределения элементов в подземных водах какого-то конкретного региона мира или страны. В данном исследовании регионом является субъект России Вологодская область.

Особенности распределения стронция в подземных водах. Региональное распределение в подземных водах стронция в настоящей работе рассматривается с двух позиций:

площадное распределение;

распределение в геологическом разрезе.

Площадное отражает неоднородности в распределения величин по муниципальным районам территории (Вологодской области), а распределение в геологическом разрезе, имеющее «вертикальный» характер, — по водоносным комплексам или пластам.

Стронций встречается в подземных водах всех районов области, однако не везде его концентрация достигает аномальных значений. Как уже неоднократно говорилось, величины, превышающие ПДК (7,0 мг/л), зафиксированы только в шести районах [4, 18-22]:

Верховажском — максимальная обнаруженная величина 7,5 мг/л;

Вожегодском — 23,4 мг/л (пос. Кадниковский);

Грязовецком — 7,4 мг/л;

Междуреченском — 8,3 мг/л;

Сокольском — 14,1 мг/л (д. Горка);

Тотемском — 7,4 мг/л.

В отчетах по Шуйскому и Соколу говорится, что превышения ПДК там зафиксированы единожды, в одной пробе. И это не лабораторная ошибка — на самом деле все верно. Причина «неожиданных» значений — в динамике артезианских вод (пробы взяты из них).

Еще в двух районах обнаружены концентрации, близкие и равные предельным. В Вологодском районе максимальная величина — ровно 7,0, а в Харовском — 5,4 мг/л. За близкие либо равные предельным приняты концентрации в диапазоне от 5 до 7 мг/л.

Максимальные величины, определенные как допустимые (1,0-5,0 мг/л) зафиксированы в наибольшем числе районов — в десяти: Бабаевском, Бабушкинском, Великоустюгском, Вытегорском, Кадуйском, Кирилловском, Нюксенском, Тарногском, Череповецком и Шекснинском.

Условно оптимальные максимальные концентрации (менее 1 мг/л) найдены в подземных водах восьми районов области: Белозерского, Вашкинского, Кичменгско-Городецкого, Никольского, Сямженского, Усть-Кубенского, Устюженского и Чагодощенского.

Из всего этого вытекает следующая закономерность: наибольшие величины элемента характерны для центральных района, а по мере отдаления на запад

Рисунок 4.1 — Карта-схема распределения максимальных обнаруженных концентраций стронция в питьевых подземных водах

по районам области. и восток они убывают. Не вписываются в картину только некоторые оптимальные районы, такие как Сямженский и Усть-Кубенский, которые окружены районами более высоких концентраций, и где значения также должны быть высокими. Скорее всего, потенциальные величины районов действительно велики, просто они еще не обнаружены. Известно, что в Сямженском, Усть-Кубенском, Белозерском, Вашкинском районах собрано недостаточно много проб. Потому для проверки гипотезы более высоких концентраций необходимо увеличить объем опробования.

В распределении по вертикали закономерность более сложная. Максимальные величины тяготеют к верхнепермским и нижнетриасовым водоносным комплексам, породы которых — известняки, доломиты, гипсы и прочие — сформировались около 250-255 миллионов лет назад, в результате обмеления Пермского моря. Эти породы и их минералы содержали, кроме кальция, также и стронций, в виде изоморфной примеси.

Таблица 4.1 — Максимальные величины стронция в подземных водах на территории Вологодской области.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Водоносные комплексы | Литологический состав | Максимальные обнаруженные концентрации стронция, мг/л |
| Четвертичной системы | Пески, глины, суглинки, песчаники | 13,0 |
| Юрской системы | Алевриты, мергели, песчаники | 1,9 |
| Индского яруса нижнего триаса | Доломиты, мергели, известняки | 7,0 |
| Татарского яруса верхней перми | Известняки, мергели, алевролиты с прослоями глин и известняков | 14,1 |
| Казанского яруса верхней перми | Известняки, доломиты с прослоями гипсов | 23,4 |
| Каменноугольной системы | Кристаллические известняки, доломитизированные известняки | 2,7 |
| Фаменского яруса верхнего девона | Доломитизированные известняки, доломиты | 1,3 |

Концентрации, равные либо превышающие ПДК, относятся к комплексам казанского и татарского ярусов (верхняя пермь), индского яруса (нижний триас) и, кроме того, к четвертичным водоносным горизонтам. Последние из них связаны, к примеру, с Вожегодским районом. Мощность перекрывающих отложений там невелика, коренные породы залегают близко от поверхности. За счет растворения их атмосферными осадками стронций активно переливается в вышележащие четвертичные горизонты [19].

Оптимальные и допустимые значения стронция характерны для юрской и карбоновой систем, для верхнего девона, горизонты которых залегают выше и ниже «очага аномалий». О концентрациях ниже верхнего девона ничего неизвестно — возможно, они составляют меньше 1,0 мг/л.

Если все-таки не принимать в расчет четвертичные горизонты Вожеги, то закономерность такова: чем дальше вверх или вниз от пермских и триасовых комплексов (так называемого «очага аномалий»), тем более низкой будет величина стронция.

Не приходится сомневаться, что распределение элемента в каждом пласте или комплексе разное. По сути, у любого из них есть свое отдельное распределение, очень изменчивое и сложное. Изучать их подробно вряд ли имеет смысл, но некоторые данные уже известны. Как отмечает А. Зубова [33], в водах пермских пород количество стронция может очень сильно варьировать даже в пределах одного пласта и над одним районом. Приведем в пример Сокольский. В разных участках одного пласта встречаются как небольшие концентрации (0,1 мг/л), так и более высокие (3,6) и значительные (14,1). Теперь этот же пласт в Тотемском районе. Величины такие же разнообразные — низкие (0,1 мг/л), средние (2,2; 4,6), повышенные (7,4). Видимо, разбросы как-то связаны с динамическими свойствами подземных вод. С другой стороны, в карбоновом пласте юго-западных районов концентрации в разных участках относительно постоянны — 0,1-0,5 мг/л. Здесь уже нет такой динамики. Отсюда еще одна закономерность: распределение по пласту зависит от интенсивности движения в нем вод.

Факторы формирования стронциевых аномалий. Так или иначе, но все максимальные концентрации элемента в подземных водах, относящиеся к пермским и триасовым пластам, связаны с залеганием в этих породах целестина. Наиболее широкое распространение он имеет в центральной части области, ареал доходит до южной границы и продолжается за пределами северной. Говоря о беломорской целестиновой провинции, можно предположить, что некоторая, вероятно, совсем небольшая ее часть лежит в пределах изучаемого Вологодского региона.

Находясь в минерале (неважно, целестин это или нет), стронций в то же время является частью определенной породы. Этот фактор так и называется — «содержание в горных породах». Рассматриваемый элемент входит в породы различного состава, но «предпочтение» отдается сульфатным и карбонатным. Именно в них содержится его наибольшая величина. Если элемент не образует в породе собственных минералов, он присутствует в других как примесь, а в случае с кальциевыми минералами (гипсом, ангидритом, доломитом) замещает главный элемент.

Закономерности распределения стронция в горных породах в целом такие же, как в подземных водах. Наибольшие величины характерны для пермских и триасовых пород, а по мере удаления от них концентрация снижается. Разница в значениях между водой и породой весьма существенна — несколько десятков, а то и даже сотен миллиграмм.

Второй фактор, вытекающий из первого, — растворение горных пород и минералов подземной водой. Из всех образований, где есть стронций, наиболее интенсивно растворяется гипс (2,0 мг/л). Целестин растворяется хуже (0,1 мг/л), но поскольку стронция в нем больше, его роль в образовании аномальных концентраций важнее. Растворению минералов способствуют их обменные реакции с содержащимся в воде агрессивным веществом. Скажем, в гидрокарбонатных кальциевых водах растворение вызывает преобладающее соединение гидрокарбонат кальция.

Третий фактор уже упоминался: растворение атмосферными осадками. Важную роль здесь играет мощность перекрывающей четвертичной толщи. В северной части вологодского «ответвления» беломорской целестиновой провинции она имеет достаточно небольшое значение для того, чтобы указанный фактор мог проявиться. Чем меньше мощность, или толщина перекрывающего слоя, тем больше вероятность контакта подстилающих пород с атмосферными осадками, и больше величина химического стока элемента (выноса его из пород). Проходя через почву, атмосферные воды, до того бывшие в химическом отношении «чистыми» (пресными), насыщаются биогенным углекислым газом, который повышает их растворяющую способность.

Рисунок 4.2 — Зависимость величины химического стока стронция (т/год·км2) от мощности перекрывающих четвертичных отложений

Следующий фактор — химический состав подземных вод. Он определяется, в общем-то, составом вмещающего их твердого вещества. Карбонатные породы содержат гидрокарбонатные воды, сульфатные породы — сульфатные и так далее. Во всех типах вод предпочтительным для стронция катионом будет кальций. А если выбирать анион, то на первом месте — гидрокарбонат, на втором — хлорид и далее — сульфат. Гидрокарбонатные кальциевые воды центральных и центрально-восточных районов области имеют самые лучшие условия для миграции элемента, именно в этих водах он всегда находится в наибольшем своем количестве.

В какой-то степени, миграцию также можно рассматривать как фактор. Она определяет величины элемента и их различия по тому или иному пласту. В результате растворения целестина гидрокарбонатными кальциевыми водами образуется подвижный углекислый стронций. Он будет основной формой миграции элемента в данном типе вод. Также распространен Sr2+, это продукт растворения кальциевых и магниевых минералов. Оказавшись в гидрокарбонатных или сульфатных водах, Sr2+ нередко объединяется с растворенными в них карбонатами и сульфатами. В одном случае это приводит к образованию новых форм миграции, которые будут медленно мигрировать в кислой среде, а в другом — к образованию геохимических барьеров: карбонатного, сульфатного (если среда при этом не кислая).

Обобщение эколого-геохимических особенностей поведения элемента в подземных водах региона. Исходя из информации, приведенной в двух последних пунктах, можно ради наглядности и более удобного понимания, а также и как некоторый вывод, сделать обобщение (перечисление). Итак, для содержащегося в питьевых подземных водах Вологодского региона стронция характерны такие эколого-геохимические черты, как:

**[Смотрите также:   Дипломная работа по теме "Экологическое состояние родников города Ижевска (на примере Карлутской группы)"](https://sprosi.xyz/works/diplomnaya-rabota-na-temu-ekologicheskoe-sostoyanie-rodnikov-goroda-izhevska-na-primere-karlutskoj-gruppy-imwp/%22%20%5Ct%20%22_blank)**

. Повсеместная распространенность;

. Сложный характер распределения — «районная» и вертикальная разновидности, неоднородные величины в одном и том же пласте;

. Тяготение элемента к гидрокарбонатно-кальциевым водам и к кальциевым минералам;

. Растворение этих минералов, а также целестина как ведущий фактор формирования аномальных значений;

. Роль атмосферных вод как второстепенный фактор;

. Миграция в воде в формах Sr2+, углекислого стронция и иных;

. Образование комплексов элемента с карбонатами, сульфатами на соответствующих геохимических барьерах.

Теперь, когда региональные эколого-геохимические особенности определены, необходимо выполнить оставшиеся задачи, первая из которых — выбор природных сорбентов. В связи с тем, что раскрытые черты не дают никакого прямого намека на тот или иной материал, который можно использовать именно против стронция, выбор нужно делать на чем-то универсальном.

4.2 Очистка воды с использованием природных сорбентов

Ранее уже говорилось, что превышения ПДК стронция в подземных водах имеют, как правило, естественные причины, и от этого усугубляется проблема хозяйственно-питьевого водоснабжения. Есть большая вероятность того, что существующие аномалии в дальнейшем будут развиваться.

Характеристика испытуемого раствора. Прежде чем вести речь о конкретных материалах, необходимо сказать о другом объекте опыта — водной пробе. Изначально предполагалось, что естественный образец искать не придется. Это заняло бы очень много времени: найти такую воду, которая содержала бы достаточное количество элемента, в несколько раз превышающее ПДК. Потому решено было остановиться на искусственном водном растворе. Он содержит в себе нитрат стронция — хорошо растворимое, доступное вещество.

Нитрат стронция, или азотнокислый стронций, представляет собою неорганическое соединение с формулой Sr(NO3)2; он имеет следующие физические характеристики [34]:

молярная масса — 212 г/моль;

температура плавления — 645 °С;

плотность — 3,0 г/см3;

растворимость в воде (при нормальных условиях) — 80 г/100 г.

Из всех соединений, имеющихся в распоряжении, нитрат обладает наилучшей растворимостью; благодаря этому он и был использован. Его растворимость увеличивается вместе с температурой окружающей среды. Вещество образовано путем химического взаимодействия гидроксида стронция с азотной кислотой. Объем раствора — 3,0 литра, концентрация элемента — 15 мг/л.

Выбор природных сорбентов. В ходе данной работы были выбраны и подготовлены несколько, а именно пять материалов-сорбентов, имеющих естественное происхождение, по каждому из них сделано небольшое обоснование (почему выбран именно этот материал). Использовались:

минерал брусит чистый дробленый (до размера частиц 2-3 мм);

минерал брусит модифицированный дробленый;

минерал шунгит дробленый;

углеродная смесь высокой реакционной способности (УСВР) — графеновый сорбент;

сильно ожелезненный и омарганцованный песок.

Брусит, или гидроксид магния, — это минерал. Его формула — Mg(OH)2. Состоит примерно на 70 % из оксида магния и на 30 % из воды. Кристаллическая структура плотная слоистая, таблитчатая. Внешне минерал чем-то походит на гипс. Имеет тригональную сингонию, белый, слегка зеленоватый цвет и стеклянный блеск, прозрачен [35].

Брусит имеет гидротермально-жильное происхождение, часто встречается в серпентине и хлорите, кристаллических и метаморфизованных известняках, мраморах. Районы распространения — Уральские горы, Восточная Сибирь (Амурская область), Китай, США [Там же].

Как сорбент брусит известен уже давно. В молотом виде его используют в качестве наполнителя фильтров для питьевой воды от ионов разных металлов. Выбор в пользу данного вещества продиктован, в общем-то, его особой кристаллической структурой, обеспечивающей наличие некоторых сорбционных по своей сущности свойств — таких как, например, химическая стойкость, слабая растворимость в воде, высокая насыпная плотность, большая сорбционная площадь (поверхность).

Модифицированный брусит представляет собою тот же чистый брусит, но преобразованный термически. При прокаливании молотой массы под действием высоких температур (200-600 °С) в течение одного часа на ее поверхности образуются микроскопические трещинки, которые весьма заметно увеличивают сорбционную площадь, а значит, и в целом улучшают способность вещества к сорбции. Как утверждает В. Королев [36], прокаливание дает эффект «разрыхления» его кристаллической структуры.

Вообще, в этом процессе можно выделить несколько этапов [Там же]:

первый этап — происходит удаление кристаллизационной воды, находящейся в минерале Mg(OH)2, и воды, имеющейся на его поверхности;

второй этап — удаление кристаллизационной воды приводит к образованию пустот — «энергетических адсорбционных центров»;

третий этап — по мере течения времени «центры» разрастаются и, превращаясь в трещины, выходят на поверхность.

Модифицированный брусит в настоящее время также получает распространение как сорбент для очистки воды наравне с его классической версией. При этом исследования показали, что от чистого выгоды меньше: модификация гораздо более эффективна [Там же].

Шунгит — одна из многочисленных форм углерода, по всем своим признакам нечто среднее между антрацитом и графитом (как и стронций является чем-то средним между кальцием и барием). Шунгит не входит в число аллотропов элемента, он скорее представляет собою смесь различных модификаций, решетки которых связаны аморфным углеродом. Химическая формула выглядит следующим образом — C60 [37].

Шунгит образовался в древнее, докембрийское время из сапропеля, который, постепенно перекрываясь все новыми и новыми отложениями, уходил в глубины недр. Термодинамические процессы вызвали его метаморфизацию и появление в минеральной структуре аморфного углерода [37].

Шунгит встречается в природе в виде тонких, до тридцати сантиметров прожилков. Обычно присутствует как примесь в доломитах и сланцах. Крупнейшие месторождения находятся в районе республики Карелия, на территории Заонежского полуострова [Там же].

Вещество обладает примерно теми же очищающими свойствами, какие есть у брусита. Но шунгит в качестве наполнителя фильтров стали применять относительно недавно. Его использование, также молотого, представляет интерес, главным образом, из-за «лечебной силы». Люди, употребляющие воду, прошедшую через шунгитовый фильтр, исцеляются от множества болезней, в частности, сердечнососудистых, пищеварительных. Хотя научного подтверждения того, что это «сила» идет именно от минерала, пока нет [Там же].

Углеродная смесь высокой реакционной способности имеет некоторое родство с шунгитом, поскольку тоже состоит из углерода, а точнее из его аллотропной модификации — графена. Графен — это слой углеродных атомов, объединенных в двухмерную, гексагональную кристаллическую решетку.

Его получают в процессе механического отщепления графитовых слоев и при термическом разложении карбида кремния SiC. Вещество обладает очень большой механической жесткостью и теплопроводностью и высоким гидравлическим сопротивлением. Последнее достигает порядка 2000 м2 на один грамм вещества. Формула зависит от количества атомов: по умолчанию она выглядит как Cn [38].

Графеновый сорбент УСВР, как утверждают его производители, значительно лучше других известных материалов выполняет функцию водоочистки. Так это или нет — большой вопрос. Многие неуверенны в самом факте научности и безопасности данной технологии, и в том ее можно использовать в масштабах производства.

Углеродная смесь высокой реакционной способности — графеновый наносорбент обладает следующими свойствами [39]:

химически стоек, инертен и гидрофобен;

насыпная плотность — от 0,01 до 0,001 г/см3;

сорбционная площадь — 2000 м2 на один грамм вещества.

Удаляемые вещества задерживаются при помощи ненасыщенных межатомных углеродных связей. Они устроены так, что через них проходят только молекулы воды. Задержка эффективнее всего действует на углеродсодержащие примеси, родственные по составу с УСВР, например, нефтепродукты. Очевидное преимущество смеси в том, что она не вступает с удаляемыми ею веществами ни в какие реакции [39].

Но есть также один «полунедостаток». Связь материала и примесей довольно хрупка для того, чтобы их можно было отделять. По завершении эксперимента УСВР регенерируется (очищается) простым отжимом — центрифугой или под прессом, в результате чего на 30-40 % теряет свою сорбирующую способность (часть примеси останется в фильтре), хотя, конечно, это не будет помехой для дальнейшей очистки [Там же].

На основе технологии работает бытовой наливной фильтр ZF-МЧС, известный также как «фильтр Шойгу». Именно он использован в исследовании. Фильтр используют для удаления взвешенных частиц, основное назначение — общая очистка, обогащение йодом, калием, бактерицидное действие. Помимо наливного режима есть также и дополнительный напорный. Производительность фильтра в режиме налива — 4 л/час, а при напорном — 30 л/час.

Рисунок 4.2 — Устройство УСВР-фильтра.

Что касается сильно ожелезненного и омарганцованного песка, это оригинальный авторский сорбент. Проба его была взята из песчаной линзы карьера «Санниково» (расположен в Грязовецком районе Вологодской области, в 25 южнее Вологды). Песок оказался не только ожелезненным, как можно было заметить по характерному цвету, при более углубленном анализе обнаружено также присутствие марганца.

Железо, как и марганец, находится в песке в форме окислов; они имеют довольно большую «численность», малые размеры, и, следовательно, огромную удельную площадь. Благодаря этим признакам данный материал, теоретически, можно было использовать как сорбент.

Подготовка и проведение опыта. Брусит и шунгит перед их непосредственной загрузкой в фильтрующие делительные воронки были размолоты в металлической ступке и пропущены через сита, а часть молотой массы первого еще подверглась термической модификации. Всего минералов было подготовлено и измельчено 300 г, поровну на оба брусита и на шунгит. И это же количество у песка. А объем водных проб составил по 500 мл (как у воронок).

Пробы начали фильтроваться почти в одно и то же время, но закончили далеко не так. Видимо, все дело — в природе отобранных веществ. Первым из них закончила очистку УСВР, за нею — песок и бруситы, модифицированный и «классический». Вода из воронки шунгита была готова последней.

Рисунок 4.4 — Устройство делительной воронки ВД 1-500.

Каждая из пяти проб раствора, соответствующая тому или иному веществу, после опыта была проверена на атомном абсорбционном спектрометре, на предмет наличия остаточной концентрации элемента. О результатах атомно-абсорбционного анализа, а также о самом анализе рассказано ниже.

Рисунок 4.5 — Процесс фильтрации раствора через шунгит, брусит и УСВР.

Определение остаточной концентрации элемента. Оно осуществлялось в рамках известного в аналитической химии количественного элементного метода-анализа — атомной абсорбционной спектрометрии. Данный метод позволяет определить величину элемента в растворах его соли, по атомным спектрам поглощения [40].

Анализ ведет прибор спектрометр. Его устройство [Там же]:

источник света — излучает спектральную линию вещества;

атомизатор — переводит это вещество в атомный пар;

спектральный прибор — определяет аналитическую линию вещества (в спектре поглощения);

электронная система — обнаруживает (регистрирует) сигнал атомного спектра поглощения.

Определение величины в пробе достигается путем использования установленной функциональной зависимости между аналитическим сигналом поглощения и концентрацией элемента. Зависимость можно представить в двух основных видах: графическом и математическом.

Результаты спектрального анализа. Результаты атомного абсорбционного спектрального анализа очистки искусственного водного раствора Sr(NO3)2 приведены в таблице 4.2. Выходные значения выражены как в миллиграммах на литр, так и в процентах от исходной концентрации (15 мг/л).

Таблица 4.2 — Результаты анализа очистки водного раствора от стронция

|  |  |
| --- | --- |
| Природный сорбент | Выходная концентрация элемента |
|  | в мг/л | в % от исходной концентрации |
| Минерал брусит чистый дробленый | 2,60 | 17,3 |
| Минерал брусит модифицированный дробленый | 1,26 | 8,4 |
| Минерал шунгит дробленый | 8,42 | 56,1 |
| Углеродная смесь высокой реакционной способности (УСВР) | 5,9 |  |
| Сильно ожелезненный и омарганцованный песок | 0,16 | 1,1 |

Как видно, самую большую эффективность очитки показал песок: из 15 мг/л через него прошло только 0,16 мг/л, или 1,1 %. Наименьшая степень очистки — у шунгита: 8,4 мг/л (56,1 %). Подобные результаты оказались несколько неожиданными — предполагалось, что первый покажет менее хороший результат, а у последнего он будет более хороший. Значения прочих сорбентов вполне соответствуют ожидаемым.

По-видимому, средний размер частиц шунгита оказался крупнее, чем у брусита, и у первого это обусловило меньшую сорбционную площадь. У песка же и у фильтра, показавших лучшие результаты, она наибольшая — значит, именно сорбционная площадь оказалась тем свойством, которое важнее всего влияет на очистку.

Таким образом, по сказанному в главе нужно сделать следующие выводы. Стронций в Вологодском регионе ведет себя примерно также как и в Архангельском — те же факторы аномалий, особенности размещения и формы миграции. Единственное отличие — в степенях превышении ПДК и площади заражений. Уникального очень мало. Однако нужно помнить, что граница между регионами чисто юридическая. Они едины, и уникальность у них по отношению к другим, соответственно, тоже общая.

Были предложены следующие природные сорбенты-очистители питьевой подземной воды: минерал брусит чистый и модифицированный, шунгит, УСВР и сильно ожелезненный и омарганцованный песок. Сорбенты испытывались на искусственном растворе нитрата стронция, содержащего 15 мг/л элемента. Результаты атомно-абсорбционного анализа очистки следующие: остаточная концентрация, прошедшая через брусит, равна 2,6 мг/л, модифицированный брусит — 1,26 мг/л, шунгит — 8,42 мг/л, УСВР — 0,89 мг/л, песок — 0,16 мг/л.

Чистить воду этими сорбентами уже сегодня рекомендуется в Вожегодском районе. Здесь все должно быть организовано в промышленном масштабе. В остальных районах области можно ограничиться их использованием на бытовом уровне, а все дальнейшие шаги будут зависеть от развития аномалий.

Заключение

В заключении работы следует сделать небольшие выводы по каждой из указанных ранее основных задач исследования, таких как изучение региональной экологической гидрогеохимии элемента стронция, выбор и обоснование сорбентов для очистки питьевых вод от него и испытание сорбентов.

На основе изучения тематической литературы и применения метода аналогий между Вологодской и Архангельской областями, у элемента были выявлены такие эколого-геохимические черты, как: повсеместная распространенность; сложный характер распределения — площадная и вертикальная разновидности, неоднородные величины в одном и том же пласте; тяготение элемента к гидрокарбонатно-кальциевым водам и к кальциевым минералам; растворение этих минералов и минерала целестина как ведущий фактор формирования аномальных значений; роль атмосферных вод как второстепенный фактор; миграция в воде в формах Sr2+, углекислого стронция и иных; образование комплексов элемента с карбонатами, сульфатами на соответствующих им геохимических барьерах.

Все указанные черты-особенности элемента составляют основу его геохимического поведения в системе подземных вод. Причем под средой проявления этих особенностей понимаются не только подземные воды, но и более глобальная оболочка — экосфера, или сфера влияния экологических процессов. Человек, отбирая и потребляя зараженную химическим элементом воду, неосознанно участвует в одном из них.

Природные материалы гораздо более безопасны в плане очистки воды, потому что их использование исключает вторичное (сопутствующее) загрязнение. Использовать нужно, в первую очередь, их. Был осуществлен аргументированный выбор нескольких сорбентов: минерала брусита чистого, дробленого до размера частиц 2-3 мм, минерала брусита модифицированного, также дробленого, минерала шунгита дробленого, углеродной смеси высокой реакционной способности (УСВР), или графенового наносорбента; сильно ожелезненного и омарганцованного песка, являющегося оригинальным авторским, нигде прежде не применявшимся материалом.

В ходе проверки сорбентов лучшие результаты показали песок и УСВР — 0,16 и 0,89 мг/л выходной концентрации. Результаты других материалов: модифицированный брусит — 1,26 мг/л, чистый брусит — 2,6 мг/л и шунгит — 8,4 мг/л. Ведущим фактором очистки признана сорбционная площадь.

В качестве рекомендаций производству и науке предлагается сделать каждый из сорбентов доступным для очистки как на бытовом уровне в настоящее время, так и на промышленном в перспективе. Очистку проводить, прежде всего, в поселениях Вожегодского района, где найдены наибольшие концентрации стронция в подземных водах (до 23,4 мг/л). В связи с тем, что данное исследование — одно из первых в Вологодской области, где затронута проблема стронция в ее питьевых подземных водах, в связи с тем, что оно является лишь промежуточным и несет в себе некоторый фундамент для последующих работ, эти работы нужно развивать. Будущие исследования должны быть направлены на раскрытие сущности выявленных эколого-геохимических особенностей и предложение новых безопасных методов очистки.

Список использованных источников

1. Фрог, Б. Н. Водоподготовка: учебное пособие / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. — Москва: Издательство МГУ, 1996, — 680 с.

. Методические рекомендации по оформлению выпускных квалификационных работ, курсовых проектов/работ для студентов очной, очно-заочной (вечерней) и заочной форм обучения. — Вологда: ВоГУ, 2016. — 120 с.

. Полякова, Е. В. Формирование стронций-содержащих подземных вод в Беломорье / Е. В. Полякова, А. И. Малов // Вестник Северного федерального университета. Серия: Естественные науки. — 2005. — № 1. — С. 39-46.

. Перельман, А. И. Геохимия: учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Высшая школа, 1989. — 528 с.

. Белицкий, А. С. Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения: учебник для вузов. Изд. 3, перераб. и доп. / А. С. Белицкий, В. В. Дубровский. — Москва: Недра, 1974. — 256 с.

. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Вологодской области Российской Федерации за 2014 год. Выпуск 19 / Отв. исполнитель Н. В. Камолинкова. — Санкт-Петербург, 2015. — 109 с.

. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03. — Москва: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003.

. Чертко, Н. К. Геохимия и экология химических элементов: справочное пособие / Н. К. Чертко, Э. Н. Чертко. — Минск: БГУ, 2008. — 140 с.

. Копейкин, В. А. Геохимия элементов: учебное пособие / В. А. Копейкин. — Ухта: УГТУ, 2012. — 194 с.

. Макрыгина, В. А. Геохимия отдельных элементов: учебное пособие / В. А. Макрыгина. — Новосибирск: Академическое изд-во «Тео», 2011. — 195 с.

. Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов: в 6 т. Т. 1: s-элементы / Под ред. Э. К. Буренкова. — Москва: Недра, 1994. — 304 с.

. Самарина, В. С. Гидрогеохимия: учебное пособие. — Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. — 360 с.

. Никаноров, А. М. Гидрохимия: учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2001. — 444 с.

. Крайнов, С. Р. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения: учебник для вузов / С. Р. Крайнов, В. М. Швец. — Москва: Недра, 1987. — 237 с.

. Крайнов С. Р. Гидрохимия: учебник для вузов / С. Р. Крайнов, В. М. Швец. — Москва: Недра, 1992. — 463 с.

. Аномалии природного стронция в питьевых водах Калужской области / А. В. Ершов, И. И. Силин, Ю. С. Кривова, Т. И. Губарева // ВНМТ. — 2006. — № 4. — С. 161-165.

. Отчет по результатам поисково-оценочных работ на питьевые подземные воды для водоснабжения с. Верховажье Верховажского района Вологодской области с подсчетом эксплуатационных запасов. Книга 1 [Текст отчета, текстовые приложения] / Отв. исполнитель Л. А. Смелова. — Геологический фонд Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. — Вологда, 2006. — 103 с.

. Отчет о результатах оценочных работ на подземные воды для питьевого водоснабжения по действующим скважинам пос. Вожега Вожегодского района Вологодской области. Книга 1 [Текст отчета] / Отв. исполнитель Л. А. Смелова. — Геологический фонд Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. — Вологда, 2006. — 135 с.

. Отчет о результатах анализа возможности обеспечения потребности в питьевых подземных водах для водоснабжения населенных пунктов Грязовецкого муниципального района за счет действующих артезианских скважин. Книга 1 [Текст отчета] / Отв. исполнитель А. Л. Кулакова. — Геологический фонд Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. — Вологда, 2009. — 327 с.

. Отчет по результатам анализа возможности обеспечения потребностей в питьевых водах с. Шуйского Междуреченского района Вологодской области за счет действующих артезианских скважин. Книга 1 [Текст, текстовые приложения] / Отв. исполнитель Т. В. Прачкина. — Геологический фонд Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. — Вологда, 2009. — 80 с.

. Отчет о результатах анализа возможности обеспечения потребности в питьевых подземных водах населенных пунктов Сокольского муниципального района за счет действующих артезианских скважин [Текст отчета, текстовые, графические приложения] / Отв. исполнитель Т. В. Прачкина. — Геологический фонд Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. — Вологда, 2005. — 138 с.

. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на питьевые подземе воды для водоснабжения г. Тотьмы Тотемского района Вологодской области. [Текст, текстовые приложения] / Отв. исполнитель Т. В. Прачкина. — Геологический фонд Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. — Вологда, 2005. — 75 с.

. Саврушева, М. И. Философия науки и техники: учебное пособие / М. И. Саврушева. — Омск, 2013. — 120 с.

. Вологодская область [Электронный ресурс] свободная энциклопедия / Википедия. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%-D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C.

. Природа Вологодской области // Главный ред. Г. А. Воробьев. — Вологда: «Издательский Дом Вологжанин», 2007. — 440 с.

. Буслович, А. Л. Геологическое строение и полезные ископаемые Вологодской области: учебное пособие для учителей географии, студентов и краеведов / А. Л. Буслович, В. А. Гаркуша, Н. Д. Авдошенко, Л. Б. Галкина (под общ. ред. — А. Л. Буслович, отв. ред. — Д. Ф. Семенов). — Вологда: ВИРО, 2001. — 172 с.

. Вологодская область — «Энциклопедия» [Электронный ресурс]: Энциклопедия. — Режим доступа: http://knowledge.su/v/vologodskaya-oblast.

. Агроклиматические ресурсы Вологодской области / под ред. Е.Г. Роговской. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1972. — 185 с.

. Авдошенко, Н. Д. Геологическая история и геологическое строение Вологодской области: учебное пособие / Н. Д. Авдошенко, А. И. Труфанов. — Вологда: ВГПИ, 1989. — 72 с.

. Плавинский, В. А. Почвы Вологодской области, их классификация и свойства: учебное пособие. — Вологда: ВоГТУ, 2007. — 92 с.

. О стратегии социально-экономического развития Вологодской области на период до 2030 года (с изменениями на 09.01.2017), Постановление Правительства Вологодской области от 17 октября 2016 года № 920 [Электронный ресурс]: Консорциум Кодекс. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/4447-43929.

. Комплексный территориальный кадастр природных ресурсов Вологодской области. Выпуск 21 / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. — Вологда, 2016 — 476 с.

. Зубова, А. В. Стронций в подземных водах Вологодской области / А. В. Зубова, М. А. Вьюгинова // Молодые исследователи — регионам: материалы всероссийской научной конференции. Том 1/ [Отв. ред. А. А. Плеханов]. — Вологда, 2012. — С. 346-348.

. Волков, А. И. Большой химический справочник / А. И. Волков, И. М. Жарский. — Минск: Современная школа, 2005. — 608 с.

. Бетехтин, А.Г. Курс минералогии: учебник для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1956 г. — 558 с.

. Сорбционные свойства брусита и глинистых смесей на его основе / В. А. Королёв, Е. Н. Самарин, В. А. Панфилов, И. В. Романова // Экология и промышленность России. — 2016. — № 1. — С. 18-24.

. Мосин, О. В. Состав и структурные свойства добываемого в России природного фуллеренсодержащего минерала шунгита / О. В. Мосин, И. Б. Игнатов // Наноинженерия,2012. — № 6. — С. 17-23.

. Сорокин, П. Б., Чернозатонский, Л. А. Полупроводниковые наноструктуры на основе графена / П. Б. Сорокин, Л. А. Чернозатонский // УФН. — 2013. — Т. 183. — С. 113-132.

. Очистка воды на основе УСВР, Петрик, «Золотая формула» [Электронный ресурс]: o8ode.ru. — Режим доступа: http://www.o8ode.ru/article/dwater/-purewater1/petrik.htm.

. Васильев, В. П. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа. — Москва: Высшая школа, 1989. — Т. 2. — 384 с.