

ГЕОЭКОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 628.16

ПРИЧИНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЖЕЛЕЗОМ С УЧЕТОМ ЕГО ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Е.С. ВЕЛЮГО

(Полоцкий государственный университет)

В статье проводится анализ качества подземных вод Республики Беларусь. Автор описывает геохимические процессы, особенности формирования и миграции железа в подземных водах, а также природные и техногенные факторы загрязнения подземных вод.

Ключевые слова: подземные воды, качество воды, железо, геохимические процессы, причины загрязнений.

Введение. В Республике Беларусь ведется систематический контроль качества подземных вод и уровня, как в свободных водных горизонтах, так и в артезианских скважинах, расположенных в естественных и слабо нарушенных гидрогеологических условиях. Организацией, ответственной за проведение мониторинга качества, является Белорусский научно-исследовательский геологоразведочный институт.

Анализ изменения качества подземных вод (среднегодовые концентрации макроэлементов) в период 2007 – 2020 гг., показывает, что основным элементом, наблюдаемым в подземных водах Беларуси в концентрациях, превышающих установленные в национальном стандарте СанПин10-124 РБ 99, является железо [1]. Очень часто это сопровождается дополнительным загрязнением подземных вод, например, марганцем, аммонийным азотом, нитритами и нитратами. Содержание железа в природной воде связано с региональными, климатическими, ландшафтными и гидрологическими особенностями зоны нашего проживания. Именно поэтому его избыточная концентрация присутствует повсеместно, охватывая почти все водоносные горизонты пресных вод и групповых водозаборов по областям Республики Беларусь, независимо от принадлежности к тому или иному артезианскому бассейну [2]. Повлиять на данный факт нет возможности, однако на этапе планирования, строительства и эксплуатации систем водоснабжения такая информация необходима.

Основная часть. График среднегодовой концентрации железа в подземных водах Беларуси в период 2006 – 2017 гг. свидетельствует о неуклонном увеличении концентрации макроэлемента (рисунок) [3].

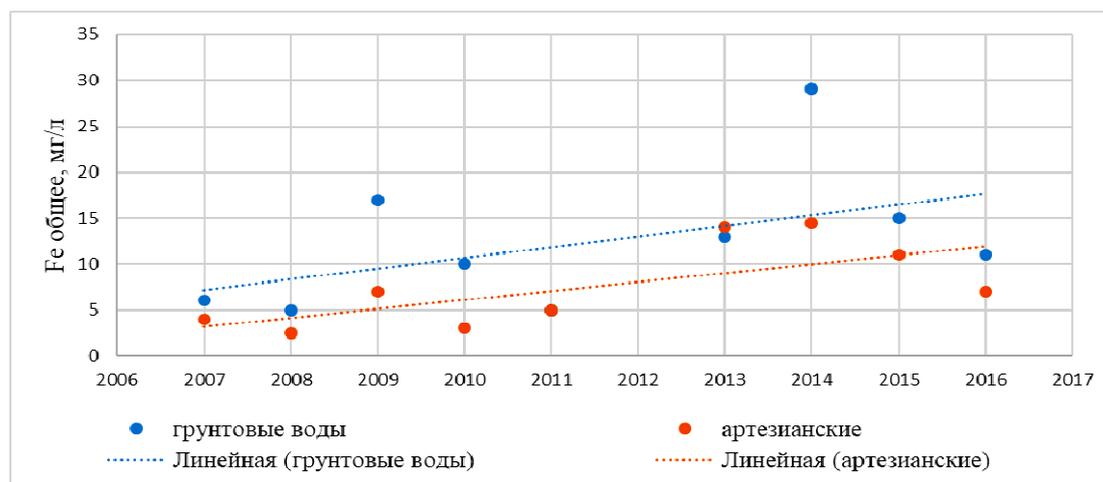


Рисунок. – График среднегодовой концентрации железа в подземных водах Беларуси (2006 – 2017 гг.)

При планировании размещения места водозаборных и водоочистных сооружений крайне важно изучать особенности формирования и миграции железа в подземных водах, обусловленных природными условиями конкретного региона и своеобразием проявлений техногенных изменений в подземной гидросфере [4]. Для определения миграционных свойств железа в природной воде необходимо четко понимать геохимические параметры данного элемента, которые обусловлены внешними и внутренними факторами. Внутренние факторы определяются формами железа, в которых оно присутствует в природной воде, а внешние, такие как гидрогео-

логические, метеорологические, гидро-литологические и прочие условия, формируют геохимическую обстановку, причем перечисленные факторы тесно взаимосвязаны.

Параметры железа – электроотрицательность, валентность, потенциал ионизации и др. зависят от физико-химических свойств водной среды – температура, величинами pH и Eh, давление, жизнедеятельность организмов, а также окислительно-восстановительных и обменных процессов, протекающих в ней [5]. В зависимости от внешних условий, определяющих основные химические свойства железа, может изменяться валентность с двух- на трехвалентное и наоборот. Чем выше валентность железа в соединении, тем меньше его растворимость, поэтому окислы, силикаты и другие кислородные соединения трехвалентного железа являются практически нерастворимыми минералами [6]. Для геохимических процессов это свойство железа очень важно. Однако в кислых растворах растворимость таких соединений резко возрастает: кислые почвы богаты неорганическим железом вплоть до токсичных уровней (до нескольких десятков и сотен миллиграммов в 1 дм³), а щелочные содержат минимальные значения растворимого железа [7].

В хорошо аэрированных водах двухвалентное железо окисляется до трехвалентного, и его растворимость резко падает. Именно поэтому в подземных водоносных горизонтах содержится повышенное содержание двухвалентного железа в связи с низкой концентрацией кислорода в жидкости и отсутствием контакта с атмосферой. Закиси крайне неустойчивы и при контакте с воздухом доокисляются, переходя в другие нерастворимые формы. Скорость окисления зависит от кислорода, температуры среды и концентрации водород-ионов. Содержание углекислоты в воде дает обратный эффект: растворимость железистых минералов повышается.

Железо может образовывать органические и неорганические комплексы, что существенно влияет на его миграцию в подземных водах. Например, содержание в воде фторидных комплексов железа оказывают воздействие на перемещение трехвалентного железа [4]. Свободное железо быстро фиксируется в виде гидроксидов и оксидов, замещает магний и алюминий и образует комплексы с химическими лигандами [8].

Концентрация железа в почве зависит не только от изменения восстановительных и кислотнo-щелочных условий, но и сторонних элементов, которыми они обогащены. Содержание железа в почвах на территории Республики Беларусь составляет около 3,11% и зависит от типа почвообразующей породы. Установлено, что колебания в содержании железа в различных почвах достигают значительных величин [8]. Например, кислые почвы содержат больше растворимого неорганического железа, чем нейтральные и щелочные, в то время как заболоченные почвы характеризуются процессом восстановления двухвалентного железа до трехвалентного, что обеспечивает увеличение растворимости железа. Данный процесс связан с метаболической деятельностью некоторых бактерий и может приводить к высокой концентрации двухвалентного железа в некоторых затопляемых почвах [14]. Дерново-подзолистые почвы содержат избыточное количество железа, а слабо аэрируемые кислые почвы характеризуются большим количеством закисных соединений железа. Данные соединения отрицательно влияют на рост растений. Избыток железистых соединений устраняется известкованием почв [15].

Железо в почвах присутствует в основном в виде оксидов и гидроксидов и находится либо в виде небольших частиц, либо связано с поверхностью минералов. Оно присутствует в форме хелатов в горизонтах с большим количеством органики, которые часто трансформируются в почве. При этом органика воздействует на образование оксидов этого микроэлемента. Гуминовые вещества, сидерофоры, органические кислоты, фенолы также взаимодействуют с железом. Например, при его контакте с гуминовыми веществами образуются водорастворимые и малорастворимые в воде соединения. В сравнении с фульвокислотами, гуминовые кислоты характеризуются большей склонностью к образованию нерастворимых соединений с металлами. Именно поэтому фульватные комплексы железа обращают на себя внимание при рассмотрении миграции железа по почвенному профилю, включая и его доступность растениям [8].

Дефицит железа широко представлен в регионах распространения карбонатных почв (30% поверхности земли), а также при высоком содержании в почве цинка, марганца, меди.

Железо поверхностных и подземных вод может оседать в любой растительности, в том числе и сельскохозяйственного растениеводства. Как биологически активный элемент, оно усваивается растениями в самом большом количестве, влияет на качественный состав микрофлоры и развития фитопланктона в водоеме, т.е. является функциональной составляющей, частью ферментативных систем.

Микроорганизмы тоже участвуют в преобразовании железа. Некоторые виды бактерий вовлечены в круговорот данного элемента и аккумулируют его на поверхности живых клеток [8]. Железообразующие бактерии способствуют накоплению железа в почве. В толще почвы можно наблюдать пласты оруднения, которые легко извлечь в виде небольших пластин [4].

Таким образом, в природных водах одновременно существуют множество взаимосвязанных процессов, что делает невозможным строгое аналитическое определение форм растворенного железа, а представленные выше геохимические особенности следует учитывать при выборе места расположения водозаборных сооружений.

С.Р. Крайнев, Г.А. Соломин и др. [9] выделили три геохимических типа железосодержащих подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения: с высокими концентрациями органического вещества, в условиях присутствия бескислородной и бисульфитной среды, а также при наличии сульфидных соединений железа. Распределение этих вод в земной коре подчинено общей геохимической и окислительно-восстановительной зональности подземных вод.

Загрязнения пресных подземных вод определяются техногенными и природными факторами. Учитывая гидрогеохимические особенности железа, рассмотренные ранее, можно выделить несколько причин техногенного загрязнения подземных вод данным металлом:

– коррозионные процессы в стальных трубопроводах систем централизованного и автономного водоснабжения;

– использование бескислородных подземных вод из нижележащих водоносных горизонтов, так как в процессе интенсивного водоотбора снижается уровень воды в вышележащих;

– образование органических соединений, которые усиливают процессы комплексообразования железа в гидрогеохимических системах и расширяют Eh-pH диапазон его водной миграции.

Увеличение содержания соединений азотной группы, особенно NH_4^+ и др. органических веществ в подземных водах наблюдается на участках утечки силосных стоков и отходов животноводства [10]. При этом водорастворенные органические вещества, содержащиеся в стоках, активно окисляются кислородом подземных вод, что приводит к уменьшению в них концентрации кислорода и закономерному снижению величины Eh. В связи с этим резко увеличивается концентрация двухвалентного железа, мигрирующего в восстановительных условиях:

– поступление стоков и кислотных дождей промышленных предприятий (химических, металлургических и горнопромышленных, разрабатывающих сульфидные месторождения). В этот пункт можно включить окисление железосодержащих сульфидов в породах верхних водоносных горизонтов;

– поступление железа в подземные воды в результате его выноса из донных отложений и водовмещающих пород в процессе привлечения поверхностных вод.

В результате этих причин происходит изменение существующей гидрогеохимической обстановки (особенно величин Eh и pH) на более благоприятную для накопления железа, где ранее его содержание в подземных водах больше нормативного было не свойственно.

Если с рассмотренными выше причинами, являющимися результатами хозяйственной деятельности человека, все ясно и понятно, то естественные природные факторы загрязнения подземных вод иногда носят непредсказуемый характер и преподносят сюрпризы при бурении скважины. К природным факторам загрязнения подземных вод относятся [11]:

– взаимосвязь подземных вод с поверхностными;

– разрушение и растворение горных пород в воде при просачивании ее в глубинные водоносные пласты;

– геолого-гидрологические условия;

– переход железа в артезианские бассейны от растений, в т.ч. сельскохозяйственной продукции, и почвы при участии почвенной влаги.

В последнее время наблюдается тенденция увеличения железа в подземных водах зоны активного водообмена, качество которых зависит от загрязнения поверхностных водных объектов. В водоносные горизонты железосодержащие поверхностные воды поступают со стороны берега благодаря боковой фильтрации и с поверхности земли в паводковый период, когда происходит затопление поймы [12]. Главными источниками железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, с последующим их механическим разрушением и растворением. В природных водах содержатся органические и минеральные вещества, которые в процессе взаимодействия с горными породами образуют сложный комплекс соединений железа, находящиеся в воде в коллоидном, растворенном или взвешенном состоянии. Кроме того, железо, являясь биологически активным элементом, может влиять на интенсивность развития фитопланктона и качественный состав микрофлоры в водоеме. Концентрация железа в поверхностной воде подвержена заметным сезонным колебаниям. Обычно в водоемах с высокой биологической продуктивностью в период летней и зимней стагнации заметно увеличение концентрации железа в придонных слоях воды. Это связано со способностью изменения валентности железа кислородсодержащих вод. В результате у поверхности концентрация железа примерно равна нулю, тогда как на глубине в некоторых озерах (и водохранилищах) достигает значительных величин. В подземную воду железо мигрирует главным образом в ионной форме, при этом наблюдается низкое значение окислительно-восстановительного потенциала Eh.

Повышенное содержание железа наблюдается также в болотных водах, где оно находится в виде комплексов с солями гуминовых кислот, так называемое «органическое» железо. Нет опасности выпадения охры в дренах на верховых болотах, но она существует на низинных, переходных болотах и достигает максимума на глеях и маршевых болотах с тонким слоем ила или торфа. Однако и на маршевых болотах степень выпадения охры в дренах зависит от местных условий. На заболоченной территории Белоруссии в основном распространены болотные железные руды (более 300 месторождений, крупнейшие – в Белорусском Полесье и северо-западной части территории республики), что значительно увеличивает концентрацию железа подземных вод на этих территориях [2].

Естественное присутствие железа в горных породах приводит к наличию железа и в подземных водах. По мере того, как вода движется через породы, часть железа растворяется и накапливается в грунтовых водах. Повышенное содержание железа в грунтовых водах возможно в переувлажненных бессточных понижениях, на низменностях, особенно в местах перехода минеральных почв в органические, в зонах влияния напорных вод, в почвах с низкими значениями pH, в областях, где соприкасаются грунтовые воды с высоким и низким pH. Не-

достаток железа наблюдается в основном на карбонатных щелочных почвах в засушливых условиях с плохим воздушным режимом [9]. Насыщенными железом оказываются подземные воды в толщах юрских глин. В глинах много пирита FeS, и железо из него относительно легко переходит в воду.

Важнейшими рудами железа являются красный железняк, магнитный железняк, бурый железняк, шпатовый железняк. В больших количествах встречается железный колчедан [16]. Месторождения железосодержащих руд на территории Республики Беларусь (Околовское, Новоселковское) при растворении также могут приводить к загрязнению подземных вод железом [12].

Заключение. Проанализировав причины загрязнения подземных вод железом с учетом его гидрогеохимических особенностей на территории Республики Беларусь, можно сделать следующие выводы.

Иногда в процессе эксплуатации водозаборных сооружений качество извлекаемых подземных вод ухудшается. Учитывая, что основным драйвером в выборе вариантов технологии водоподготовки является качество исходной воды, крайне важно изучать особенности формирования подземных вод, обусловленных природными условиями конкретного региона и своеобразием проявлений техногенных изменений в подземной гидросфере.

Изучение миграции железа в подземных водах в районах водозаборов является актуальной темой, так как оно не только позволяет прогнозировать изменение качества используемой воды, но и оценить характер, масштаб и эффективность методов обезжелезивания в заданных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь : результаты наблюдений, 2018 год / Под общ. ред. Е.П. Богодяж – Минск : Респ. ц-р по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 2019. – 476 с.
2. Водные ресурсы Республики Беларусь, их использование и охрана. – Минск : ЦНИИКиВР, 2016 – 24 с.
3. Рашкевич, Е.И. Технично-экономическое, природоохранное и социальное исследование строительства объектов водоснабжения со станциями обезжелезивания Витебской области : дис. .. магистр. техн. наук / Е.И. Рашкевич. – Новополоцк, 2019. – 70 л.
4. Труфанов, А.И. Рекомендации по унификации методов исследований пресных железистых вод / А.И. Труфанов ; Хабар. комплекс. НИИ ДВНЦ АН СССР. – Хабаровск, 1980 – 56 с.
5. Крайнов, С.Р. Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии / С.Р. Крайнов, Ю.В. Шваров, Д.В. Гричук. – М. : «Недра», 1988. – 254 с.
6. Окунева, Н.И. К вопросу формирования железистых вод / Н.И. Окунева // Гидрогеология СССР. – М. : «Недра», 1971. – Т. XXIII. – С. 244–250.
7. Общее железо в воде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://icolog.ru/gidrosfera/obshee-jelezo-v-vode.htm>. – Дата доступа: 27.05.2021.
8. Железо. Питательные элементы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pesticity.ru/active_nutrient/iron. – Дата доступа: 27.05.2021.
9. Казак, Е.С. Формирование железа в подземных водах водозаборных участков по данным экспериментальных исследований и геомиграционного моделирования : автореф. дис. ... канд. геолого-минер. наук : 25.00.07 / Е.С. Казак. – М., 2010. – 44 с.
10. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. – М. : Наука, 2004. – 677 с.
11. Киреева, Т.А. Гидрогеохимия : конспект лекций / Т.А. Киреева. – М. : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2016 – 206 с.
12. Гольдберг, В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В.М. Гольдберг, С. Газда. – М. : «Недра», 1984. – 262 с.
13. Кабата-Пендиас, А., Микроэлементы в почвах и растениях [пер. с англ.] / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 439 с.
14. Минеев, В.Г. Агрохимия : учеб. / В.Г. Минеев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 2004. – 720 с.
15. Кадацкая, О.В. Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О.В. Кадацкая. – Минск : Наука и техника, 1987. – 135 с.

Поступила 03.06.2021

THE CAUSES OF UNDERGROUND WATER POLLUTION WITH IRON IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS FRE DESCRIBED, TAKING INTO ACCOUNT THE HYDROGEOCHEMICAL FEATURES OF THIS METAL

E. VELYUGO

The article analyzes the quality of underground water in the Republic of Belarus. The author describes the geochemical processes, features of the formation and migration of iron in underground waters. The article describes the natural and man-made factors of groundwater pollution.

Keywords: *underground water, water quality, iron, geochemical processes, causes of pollution.*