

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АКАДЕМИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е.М. Дутова, И.В. Вологодина*, Д.С. Покровский**, Л.В. Заморовская

Томский политехнический университет
E-mail: dutova@sibmail.com

*Томский государственный университет
E-mail: irvalvo@sibmail.com

**Томский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: dsp@sibmail.com

Приведены результаты изучения геохимии подземных вод Академического месторождения, используемого для хозяйственно-питьевого водоснабжения крупного жилого района г. Томска. Приводятся данные об изменении гидрогеохимических показателей в процессе эксплуатации месторождения. Установлено устойчивое во времени повышение в подземных водах величин сульфат-иона и общей жесткости, при одновременном уменьшении концентраций растворенных форм миграции железа. Изменение химического состава воды сопровождается вторичным минералообразованием и формированием осадков на технологическом оборудовании скважин. Осадки представляют собой полиминеральную смесь, в составе которой выделяются оксидная железистая, фосфатная, карбонатная и алюмосиликатная минеральные фазы.

Введение

Проблема изменения химического состава подземных вод в процессе эксплуатации водозаборными сооружениями в последнее время привлекает все большее внимание исследователей [1, 2]. Эти изменения зависят как от региональных особенностей расположения месторождений в общей схеме ландшафтно-климатической и гидрогеохимической зональности, так и от локальных условий отдельных месторождений, в частности, от металлогенической спецификации водовмещающих пород, источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод, длительности эксплуатации, режимов и интенсивности водоотбора.

Академическое месторождение г. Томска является типичным представителем месторождений, расположенных в низкогорных условиях Алтае-Саянской складчатой области, относящейся к геохимической провинции железо- и марганецсодержащих подземных вод. Выявление закономерностей и механизмов формирования состава вод в этих условиях представляет несомненный интерес как с теоретических, так и с прикладных позиций. Фактической основой работы послужили материалы мониторинговых исследований, выполняющихся службами водозабора.

Общая характеристика объекта исследований

Академическое месторождение подземных вод в геолого-структурном отношении расположено в пределах Кольвань-Томской складчатой зоны. Водовмещающие палеозойские породы, представленные песчаниками, глинистыми сланцами, аргиллитами и алевролитами и содержащие дайки пермо-триасового возраста, наиболее обводнены в пределах зоны экзогенной трещиноватости, особенно вдоль тектонических нарушений и сопутствующих им зон дробления. По данным В.А. Врублевского и др. [3], глинистые сланцы представляют собой агрегаты кремнисто-глинисто-хлоритового состава с включениями мелких зерен кварца, полевых шпатов, чешуек хлорита и серицита, с прослойками, обогащенными детритом брахиопод, мшанок, криноидей. Повсеместно в сланцах наблюдается тонкая вкрапленность пирита. Песчаники представляют собой граувакки и состоят из зерен кварца, полевых шпатов, обломков микрокварцитов и кремнистых пород. Выделяются песчаники с хлоритовым, кремнисто-хлоритовым и кварцевым регенерационным цементом. Алевролиты распространены очень широко, часто чередуются с песчаниками и не отличаются от них по составу обломков, имеют кремнисто-глинисто-хлоритовый цемент.

Эффективная мощность пород комплекса изменяется от 9 до 85 м. Обводнены все разности пород, но водообильность их чрезвычайно неравномерна и по параметрам (коэффициенты водопроницаемости, расходы, удельные дебиты скважин) отличается на отдельных участках на два порядка. В пределах наиболее водообильных участков, выявленных при разведке, производительность скважин изменяется от 5,7 до 23 л/с при удельных дебитах от 0,3 до 2,1 л/с.

Водозабор, эксплуатируемый с 1974 г. и обеспечивающий хозяйственно-питьевое водоснабжение крупного жилого массива г. Томска, расположен в бассейне р. Ушайки и представляет собой площадную систему из 13 скважин с расстояниями от 250 до 500 м между ними (рис. 1).

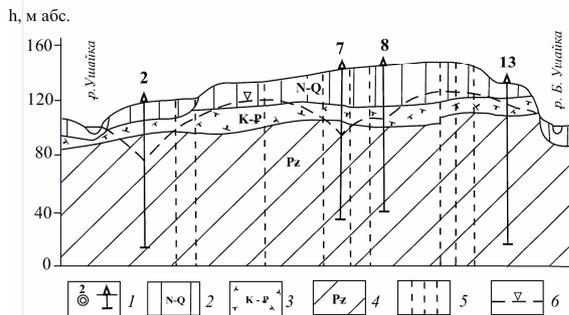
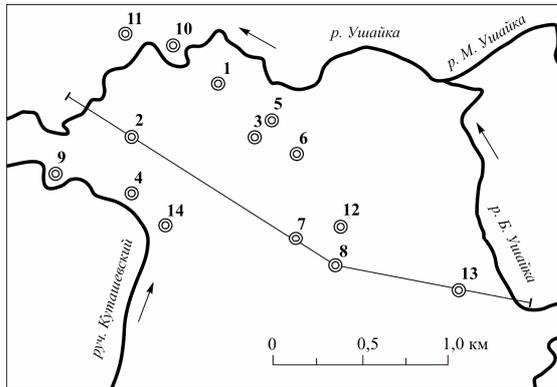


Рис. 1. Расположение эксплуатационных скважин водозабора Академгородка и схема гидрогеологического строения месторождения: 1) скважина и ее номер; 2) комплекс неоген-четвертичных отложений; 3) водоносный горизонт палеозойских образований; 4) глинистая кора выветривания; 5) тектонические нарушения; 6) уровень подземных вод

Скважины глубиной 80...110 м оборудованы фильтрами с проволоочной обмоткой, располагающимися в пределах глубин 14...80 м, и погружными насосами, установленными в интервалах 40...80 м от дневной поверхности. Производительность эксплуатационных скважин колеблется от 100 до 900, а водозабора в целом — от 2380 до 3165 при среднегодовых значениях 2560 м³/сут.

Химический состав подземных вод

По химическому составу воды эксплуатационных скважин исключительно гидрокарбонатные с различными соотношениями кальция и маг-

ния, пресные, нейтральные и слабощелочные, жесткие и умеренно-жесткие (табл.).

Таблица. Химический состав подземных вод Академического месторождения (составлено по данным служб водозабора)

Показатели	Значения показателей: мин. – макс. (средние)
Температура, °С	5,0...8,5 (7,98)
Сухой остаток, мг/дм ³	307...607 (396,0)
рН	6,96...7,73 (7,35)
Жесткость, мг-экв/дм ³	5,5...8,35 (6,76)
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	366...469,7 (425,2)
Cl ⁻ , мг/дм ³	0,5...12,8 (3,6)
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	0,1...71,1 (2,36)
Ca ²⁺ , мг/дм ³	80...142 (104,2)
Mg ²⁺ , мг/дм ³	8,5...28,7 (19,2)
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0,005...4,4 (0,50)
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,01...0,075 (0,083)
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	0,16...1,85 (0,82)
Fe _{общ} , мг/дм ³	0,93...16,80 (4,03)
Mn, мг/дм ³	0,17...1,94 (0,94)
Cu, мг/дм ³	0,0005...0,02 (0,003)
Mo, мг/дм ³	0,0005...0,002 (0,0084)
CO ₂ св., мг/дм ³	10,5...95,2 (40,5)
Окисляемость, мг O ₂ /дм ³	0,7...3,6 (1,70)
Число значений	44

Преобладающим катионом является кальций, реже — магний. В целом подземные воды являются типичными представителями вод таежных и подтаежных ландшафтов Кольвань-Томской складчатой зоны. Вариации значений показателей химического состава, закономерности и масштабы их изменений зависят от пространственного положения, литолого-фациальной принадлежности пород и генетического типа вод, а также временной координаты отбора проб.

Значения, превышающие предельно допустимые для вод хозяйственно-питьевого назначения, имеют содержание железа и марганца, окисляемость и жесткость, причем железо и марганец практически в ста процентах случаев, а жесткость и окисляемость — лишь в отдельных скважинах, а иногда и только в определенные периоды.

Изменение гидрогеохимических показателей в процессе эксплуатации месторождения

Эксплуатация скважин водозабора вызвала формирование единой воронки депрессии, занимающей площадь около 2,5 км². Распространение воронки ограничивается водоразделом на юге, контурами рек на севере (р. Ушайкой) и востоке (р. Большой Ушайкой), руч. Куташевским на западе. В отдельных, наиболее интенсивно эксплуатируемых, скважинах понижение уровня достигало 17...23 м (скв. 2, 6).

Изменение гидродинамических условий, по нашему мнению, приводит к аэрации недр — ведущей причине, практически монополюсно определяющей в данных ландшафтных условиях изменение природного состояния системы «вода-порода» и активизацию

физико-химических процессов, а в конечном итоге — трансформацию гидрогеохимических параметров и качества вод. На рис. 2–4 показана скорость изменения содержания компонентов в водном растворе, которая оценивалась за период с 1984 по 2005 гг.

Аэрирование горизонта сопровождается переходом железа из раствора в твердую фазу и, на наш взгляд, фиксируется на данном месторождении уменьшением содержания железа в водах эксплуатационных скважин. Переход железа из раствора в твердую фазу сопровождается выделением углекислоты или ионов водорода, повышающих кислотность среды (рис. 2) и, соответственно, увеличивающих растворимость карбонатов. В этой связи, именно аэрация недр является главной и практически во всех природных условиях распространенной причиной, определяющей внутрипородное осаждение соединений железа и повышающей общую жесткость и минерализацию эксплуатируемых подземных вод.

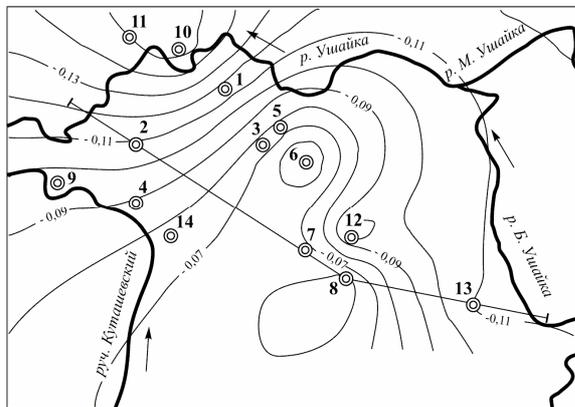


Рис. 2. Пространственное распределение скорости изменения показателя рН (ед.рН/год) в процессе эксплуатации Академического месторождения подземных вод

Эксплуатация Академического месторождения подземных вод, водовмещающие породы которого, как и палеозойских образований региона в целом, пиритизированы, активизирует и окисление сульфидов в зоне аэрации и водосодержащей толще [4]. В результате в водах эксплуатационных скважин четко фиксируется рост содержания сульфат-иона во времени. В конце 80-х гг. прошлого столетия среднее содержание сульфат-иона в водах эксплуатационных скважин составляло 5,1, а в конце 90-х — уже 27,6 мг/дм³, т. е. в течение десятилетия возросло со средней интенсивностью приблизительно 2,0 мг/дм³ в год. Эта закономерность наиболее ярко видна по отдельным активно эксплуатируемым скважинам, имеющим максимальные понижения уровня и, соответственно, объемы искусственно аэрируемой части водоносного горизонта (скв. 2, 6). За 15 лет эксплуатации содержание сульфат-иона в них изменилось от первоначально полного отсутствия (ниже чувствительности методов определения) до 60...70 мг/дм³ в последние годы. Таким образом, интенсивность роста содержания сульфат-иона в водах этих скважин в 2...3 раза выше средней и достигает 5 и более мг/дм³ в год (рис. 3).

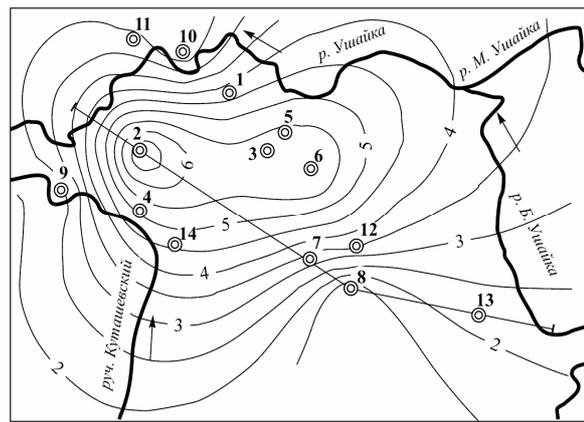
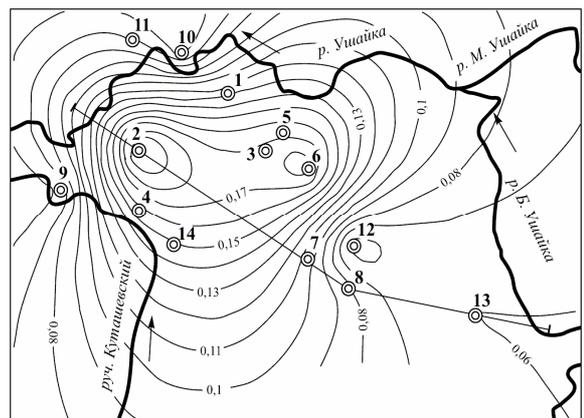


Рис. 3. Пространственное распределение скорости роста содержания сульфат-иона (мг/дм³ в год) в процессе эксплуатации Академического месторождения подземных вод.

Окисление сульфидов сопровождается подкислением вод, которое тут же расходуется на повышение растворимости карбонатных минералов. Появление же в составе вод более высоких концентраций сульфат-иона, в свою очередь, активизирует образование комплексных соединений, чем повышает и усиливает миграционную способность элементов. Поэтому воды, формирующиеся в этих условиях, способны содержать большие количества элементов, в том числе таких, например, как кальций и магний. В этой связи, наряду с сульфат-ионом в водах эксплуатационных скважин, наблюдается повышение величин общей жесткости (рис. 4) и минерализации. Эта закономерность хорошо проявляется при сопоставлении средних значений жесткости, относящихся к различным периодам освоения месторождения. Так, например, средняя жесткость подземных вод поисково-разведочных скважин до начала работы водозабора составляла 5,8, в эксплуатационных скважинах в конце 80-х гг. — 6,2, в конце 90-х гг. — 6,9 мг-экв/дм³.



дах, чем традиционно используемые для объяснения этого явления процессы привлечения поверхностных вод при эксплуатации скважин, работающих в инфильтрационном режиме. Простейшие расчеты показывают, что для обеспечения возможности загрязнения подземных вод Академического месторождения за счет вод р. Ушайки в последних необходимы содержания сульфат-иона, составляющие несколько сотен мг/л, чего нет в реальных условиях.

Пространственное распределение скорости роста сульфат-иона, pH, общей жесткости в процессе эксплуатации подземных вод говорит о том, что в наиболее нагруженных (эксплуатируемых) скважинах наблюдается наибольший прирост компонента в год. И, наоборот, в скважинах, которые простаивают и практически не эксплуатируются, прирост весьма незначителен.

Изменение гидрогеохимических показателей и процессы вторичного минералообразования

Изменение химического состава воды сопровождается вторичным минералообразованием и формированием осадков на технологическом оборудовании водозаборных сооружений.

По результатам расчетов термодинамических равновесий в системах подземная вода – алюмосиликаты и подземная вода – карбонаты, воды месторождения насыщены относительно кальцита, арагонита, сидерита, родохрозита, церуссита, малахита, кварца; равновесны с продуктами выветривания первичных алюмосиликатов (каолинитом, иллитами, монтмориллонитами).

Результаты расчетов хорошо согласуются с результатами выполненных нами исследований минералогического состава осадков, образующихся на оборудовании водозаборных скважин. Осадки сложены преимущественно гидроксидами железа и марганца, а также карбонатами кальция. Железистая фаза представлена ферригидритом и гематитом [5, 6].

На оборудовании скважин, на фильтрах, на водоподъемных трубах, погружных насосах и измерительной аппаратуре осадки накапливаются в условиях динамического водного потока. В результате формируется охристая масса веществ различной дисперсности, объединенных в единую пространственную структуру, плотную на контакте с деталями оборудования и обладающую коллоидными свойствами вблизи поверхности (рис. 5).

Результаты химического анализа осадков представлены на рис. 6, из которого следует, что в их среднем валовом составе преобладают окислы железа и алюминия (более 36,59 и 22,54 % соответственно). Существенно более низки, но также значительны доли окислов, кальция, кремния и фосфора. Распределение отдельных компонентов зависит от места и конкретных условий формирования осадков и, в целом, подчеркивает региональную геохимическую специализацию подземных вод, типичных для определенной ландшафтной и геолого-структурной обстановки [6].

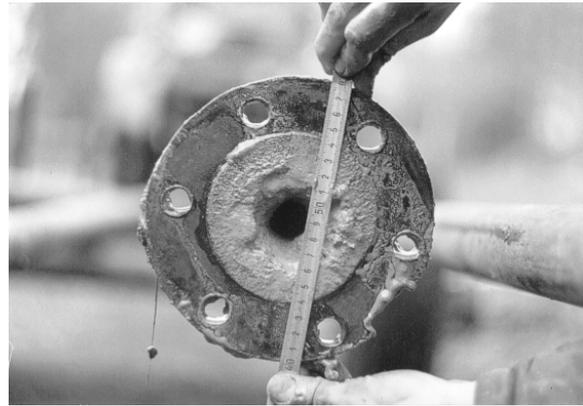


Рис. 5. Осадки на внутренней поверхности насосного фланца скважины № 8 водозабора Академгородка

Полуколичественный спектральный анализ показал, что формирующиеся минеральные новообразования помимо основных компонентов выводят из раствора и элементы-примеси, такие как Pb, Cu, Ba, Ni, Mo, Zr, Zn, Co, Sr, концентрации которых в первичном растворе зависят как от природных факторов, так и от общего экологического состояния системы.

При электронно-микроскопическом и рентгенофазовом исследованиях выявлено большое разнообразие форм выделения тонкодисперсного вещества, слагающего осадки. В осадках на оборудовании большинства скважин преобладают существенно железистые окисные и гидроокисные минералы (от 45 до 60 %) – ферригидрит, гетит, реже – гематит. В меньших, но примерно равных долях определяются фосфатные минералы, представленные вивианитом, скорзалитом и штрэнгитом (от 2 до 15 %), глинистые, представленные каолинитом (от 6 до 12 %), и карбонатные, представленные кальцитом и сидеритом (от 3 до 10 % общей массы), минералы. Доля органических минералов незначительна и составляет 3...5 %. Несколько особняком стоят осадки скважины № 5, для которых характерно присутствие примерно в равных соотношениях железистых окисных и гидроокисных и фосфатных минералов (примерно по 30 %) и относительно повышенное содержание органических минералов (7...10 %).

Таким образом, осадки, формирующиеся на оборудовании скважин водозабора, представляют собой полиминеральную смесь, в составе которой выделяются окисные железистая фаза, фосфатная, карбонатная и алюмосиликатная минеральные фазы. Минеральный состав новообразований определяется современными процессами хемогенного и биохемогенного осаждения, которые регулируются природно-техногенными физико-геохимическими барьерами.

Выводы

1. Произошедшие за 20–30-летний период изменения гидродинамических условий водозабора Академгородка г. Томска, вызванные водоотбором и формированием депрессионных воронок, приводящих к аэрации недр, сопровождаются

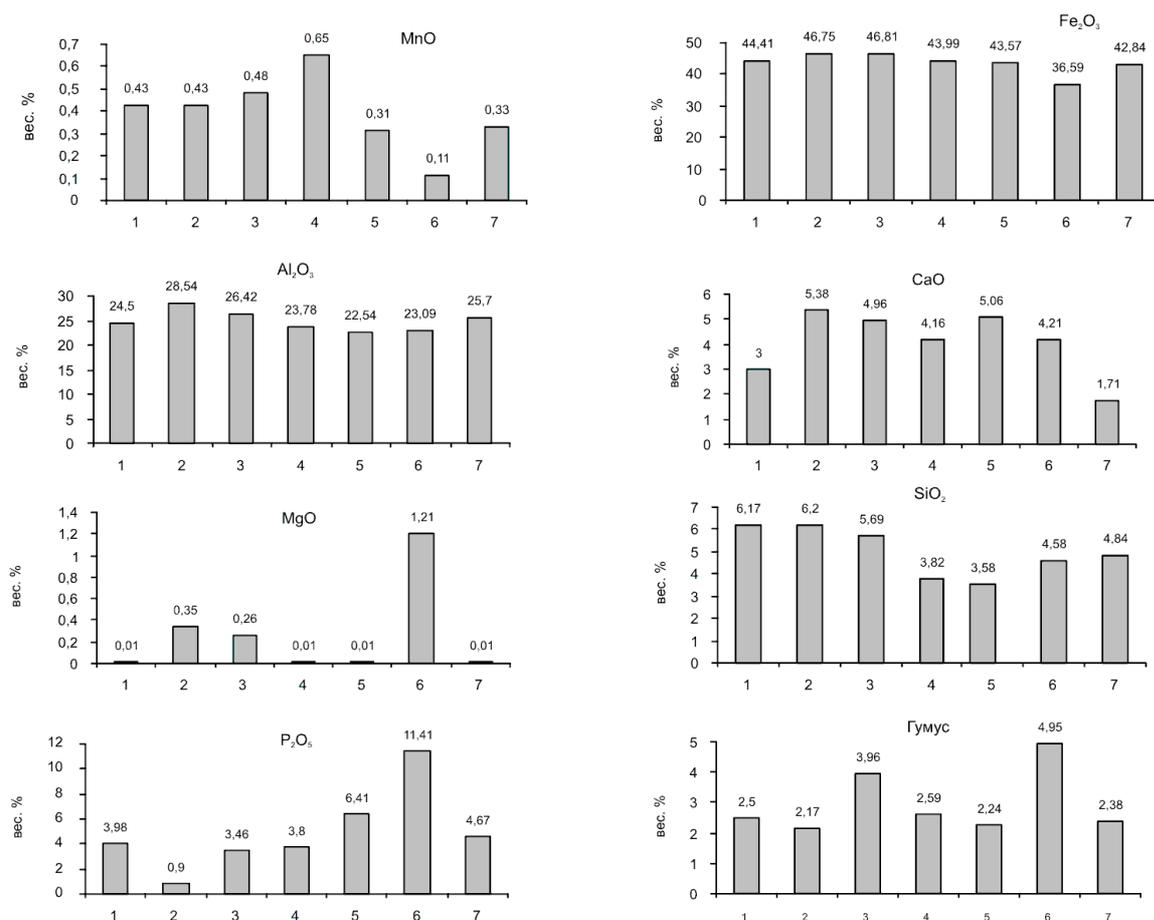


Рис. 6. Гистограммы содержаний компонентов в осадках на оборудовании скважин. Места отбора проб: 1) скв. № 2, водомер; 2) скв. № 2, внешняя поверхность водоподъемных труб; 3) скв. № 8, внутренняя поверхность водоподъемных труб; 4) скв. № 9, насос; 5) скв. № 3, насос; 6, 7) скв. № 5, 6, внутренняя поверхность водоподъемных труб

- трансформацией термодинамического состояния в системе «вода-порода» и, соответственно, гидрогеохимическими преобразованиями, выражающимися в изменении миграционной способности химических элементов, а в конечном итоге и качества вод.
- Изменение гидрогеохимических условий при эксплуатации месторождений подземных вод сопровождается вторичным минералообразованием и формированием осадков как в пласто-

вых условиях, так и на технологическом оборудовании водозаборных сооружений.

- Возможные изменения химического состава подземных вод должны учитываться как на стадиях оценки эксплуатационных запасов, так и при обосновании технологий водоподготовки, в связи с тем, что длительная эксплуатация может привести к необходимости пересмотра технологических схем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-05-1365 офи_ц).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
- Лехов А.В., Шваров Ю.В. Рост минерализации эксплуатируемых подземных вод при наличии пирита в покровных отложениях // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2002. – № 4. – С. 316–325.
- Врублевский В.А., Нагорский М.П., Рубцов А.Ф., Эрвье Ю.Ю. Геологическое строение области сопряжения Кузнецкого Алатау и Кольвань-Томской складчатой зоны. – Томск: Изд-во ТГУ, 1987. – 96 с.
- Dutova E.M., Nalivaiko N.G., Kuzevanov K.I., Kopylova J.G. The chemical and microbiological composition of urban groundwater, Tomsk, Russia // Proc. of the XXVII Congress IAH. – Nottingham, UK, 1998. – V. 2. – P. 371–376.
- Покровский Д.С., Дутова Е.М., Рогов Г.М., Вологодина И.В., Тайлашев А.С., Лычагин Д.В. Минеральные новообразования на водозаборах Томской области / Под ред. Д.С. Покровского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 176 с.: ил.
- Покровский Д.С., Дутова Е.М., Вологодина И.В., Тайлашев А.С. Природно-техногенное минералообразование на фильтрах обезжелезивания водозабора Томского Академгородка // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – № 6. – С. 319–329.

Поступила 20.12.2007 г.