

*И. В. Вологодина*¹, *Е. М. Дутова*², *Д. С. Покровский*³, *В. Д. Покровский*², *И. В. Радюк*²

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ НОВООБРАЗОВАНИЯ НА ВОДОЗАБОРАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, Томск, пр. Ленина, 36

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российская Федерация, 634050, Томск, пр. Ленина, д. 30

³ Томский государственный архитектурно-строительный университет, Российская Федерация, 634003, Томск, пл. Соляная, 2

Приведены результаты изучения минеральных новообразований на водозаборах из подземных источников Томской области с различными гидрогеохимическими характеристиками. Рассмотрены морфологическое строение, вещественный и минеральный состав новообразований. Установлено, что новообразования являются полиминеральными смесями, основу которых составляют железистая и алюмосиликатная фазы, а подчиненную роль играют фосфатная, карбонатная и марганцевая фазы. Проведенными минералогическими исследованиями в них идентифицируется 24 минерала. Структурно-вещественный и минеральный составы новообразований зависят от гидрогеохимического состояния осадкообразующей среды и параметров технологических процессов. Рекомендовано при разведке месторождений производить оценку не только эксплуатационных запасов подземных вод, но и попутного минерального сырья. Библиогр. 13 назв. Ил. 5. Табл. 5.

Ключевые слова: подземные воды, водозабор, водоподготовка, минеральные новообразования, химический состав, минеральный состав.

*I. V. Vologdina*¹, *E. M. Dutova*², *D. S. Pokrovsky*³, *V. D. Pokrovsky*², *I. V. Radyuk*²

NATURAL AND TECHNOGENIC MINERAL NEW GROWTHS AT WATER INTAKES IN TOMSK REGION

¹ National Researcher Tomsk State University, 36, pr. Lenina, Tomsk, 634050, Russian Federation

² National Researcher Tomsk Polytechnic University, 30, pr. Lenina, Tomsk, 634050, Russian Federation

³ Tomsk State University of Architecture and Construction, 2, pl. Solyanaya, Tomsk, 634003, Russian Federation

The article presents the results of studies of mineral new growths at water intakes from underground water sources of Tomsk region characterized by specificity of hydrogeochemical conditions. The morphological structure, material and mineral composition of new growths were considered. It was established that new growths is a polymineral mixture based on ferrous and aluminosilicate phases and phosphate, carbonate and manganese phases play a subordinate role. Twenty-four minerals are identified by mineralogical investigations. Structural, material and mineral composition of new growths depends on the hydrogeochemical conditions of sludge forming environment and parameters of technological processes. It is recommended to assess not only the groundwater storage but also the associated minerals for investigation of deposits. Refs 13. Figs 5. Tables 5.

Keywords: ground water, water intake, drinking water treatment, mineral new growths, chemical composition, mineral composition.

Введение

Представляемая статья является попыткой заполнить пробел, существующий в области изучения природно-техногенного минералообразования, связанного с одним из самых распространенных видов человеческой деятельности. Речь идет о водоснабжении, практически все технологические процессы которого сопровождаются образованием значительного количества осадков.

В настоящее время при организации хозяйственно-питьевого водоснабжения приоритеты отдаются подземным источникам как наиболее защищенным от различного рода загрязнений. Вместе с тем подземные воды по своим природным характеристикам являются некондиционными по ряду показателей. Для доведения их до нормативов используются различные технологии водоподготовки, в процессе которых образуется значительное количество разнообразных по составу осадков.

Формирование осадков обычно оценивается как негативный процесс, снижающий эффективность работы инженерных систем и загрязняющий окружающую среду, и осадки, рассматриваемые нами как природно-техногенные гидрогенные минеральные новообразования, есть не что иное, как побочный продукт водоподготовки: именно на их образование ориентированы современные технологии очистки воды [1–8].

Выявление закономерностей и механизмов формирования, вещественного состава, структурных и минералогических особенностей строения осадков представляет несомненный интерес как с теоретических, так и с прикладных позиций. Их учет позволит, например, с одной стороны, выработать адекватную стратегию борьбы с явлениями, ухудшающими работу водозаборов (кольматация скважин и фильтров, коррозия оборудования и т. п.), а с другой — получить модель современного минералообразования, поскольку имеется возможность наблюдать за ростом минералов практически с момента их зарождения. Осадки, в весьма значительных количествах формирующиеся на высокопроизводительных водозаборах, представляют интерес и как источник минерального сырья.

Характеристика источников водоснабжения

Томская область расположена на стыке структур Западно-Сибирского артезианского мегабассейна и Саяно-Алтайской складчатой области. Хозяйственно-питьевое водоснабжение в городских и сельских населенных пунктах в настоящее время базируется на эксплуатации месторождений подземных вод водоносных комплексов неоген-четвертичных, палеогеновых, меловых и палеозойских отложений (табл. 1).

Водовмещающие породы неоген-четвертичных, палеогеновых и меловых отложений представлены горизонтами разнородных песков, зачастую обогащенных гравием и галькой. Водовмещающими породами палеозойских отложений являются кварцевые и полевошпатово-кварцевые песчаники, глинистые сланцы, аргиллиты, алевролиты и диабазы.

Зональное изменение природно-климатических условий обусловило в пределах области широтную гидрогеохимическую зональность, в соответствии с хорошо известными общими закономерностями которой наиболее минерализованные и щелочные подземные воды формируются в лесостепи и южной тайге, а наиболее пресные и кислые — в условиях средней заболоченной тайги.

Особенно четко роль ландшафтно-климатических факторов проявляется в широтной изменчивости параметров химического состава подземных вод комплекса неоген-четвертичных отложений, залегающего первым от поверхности и потому представляющего собой наиболее динамичную систему, чутко реагирующую на внешнее воздействие естественно-природного и антропогенного происхождения.

Таблица 1. Водоотбор из подземных источников

Водоносный комплекс	Водоотбор		
	тыс.м ³ /сут	тыс.м ³ /год	%
Неоген-четвертичных отложений	8,9	3248	2,0
Палеогеновых отложений	372,0	135780	81,9
Меловых отложений	31,3	11425	6,8
Палеозойских отложений	42,1	156367	9,3
Всего	454,3	165820	100,0

Среди повсеместно развитых гидрокарбонатных кальциевых, магниевых-кальциевых и натриево-кальциевых вод с юга на север, в соответствии с постепенным переходом от лесостепи к средней тайге, умеренно пресные воды с величиной сухого остатка 0,4–0,5 г/дм³ сменяются ультрапресными (0,1–0,2 г/дм³), уменьшаются значения рН, возрастает содержание железа и органических веществ.

Общей ландшафтно-климатической зональности подчиняются и подземные воды палеогеновых отложений, составляющие основную часть ресурсов пресных вод области (рис. 1). Гидрокарбонатные кальциевые и магниевых-кальциевые или натриево-кальциевые по составу, они во всех горизонтах имеют минерализацию, закономерно уменьшающуюся от обычных 400–500 на юге области до 200–250 мг/дм³ — на севере. Параллельно уменьшаются значения рН, возрастает содержание железа и органических веществ. Следует отметить, что для вод палеогена характерна и вертикальная зональность: с глубиной несколько возрастают содержание хлор-иона и минерализация, а содержание натрия увеличивается от первого десятка в подземных водах новомихайловской свиты до 40–60, иногда и более 100 мг/дм³ — в нижележащих горизонтах атлымской и юрковской свит.

Для водоносного комплекса палеозойских образований характерны нейтральные и слабощелочные воды, в которых, по сравнению с подземными водами отложений неоген-четвертичного и палеогенового возраста, снижается содержание органических веществ. Среди типичных для всей гумидной области гидрокарбонатных кальциевых, магниевых-кальциевых либо натриево-магниевых-кальциевых вод с величиной сухого остатка от 0,14 до 0,58 г/дм³ на отдельных участках появляются типичные гидрокарбонатные натриевые (содовые) воды с содержаниями натрия 110–160 мг/дм³.

Регион, согласно [9], относится к железо-марганцевой геохимической провинции, для подземных вод которой характерно повышенное содержание железа и марганца.

Для исследования процессов осадкообразования и формирования минеральных новообразований в качестве наиболее представительных и обладающих специфическими гидрогеохимическими обстановками были выбраны водозаборы городов Томска и Стрежевого, а также Томского Академгородка и Кисловки. Первые два из них базируются на подземных водах палеогена в крайних южной и северной точках области, водозабор Академгородка типичен для водоносного комплекса палеозойских образований и является представительным объектом эксплуатации вод трещинных коллекторов в низкоргорных условиях Алтае-Саянской складчатой области,



Рис. 1. Распределение компонентов химического состава подземных вод палеогеновых и палеозойских отложений:

1–5 — изолинии содержания в подземных водах: 1 — железа общего, мг/дм³; 2 — марганца, мг/дм³; 3 — солей жесткости, мг-экв/дм³; 4 — окисляемости, мг О₂/дм³; 5 — аммония, мг/дм³; 6 — граница выступа палеозойского фундамента.

а водозабор Кисловки является практически единственным из имеющих очистные сооружения и эксплуатирующих горизонты четвертичного возраста. Водоподготовка на всех водозаборах предусматривает использование методов аэрации.

Таблица 2. Химический состав подземных вод (по данным служб водозаборов)

Показатели	Водозаборы			
	Академгородка	Томска	Стрежевого	Кисловки
рН	7,56	7,25	6,53	6,9
Сухой остаток, мг/дм ³	350	330	240	294
Жесткость, мг-экв/дм ³	6,66	4,97	2,98	4,9
Железо общее, мг/дм ³	3,49	2,05	6,05	3,24
Марганец, мг/дм ³	0,52	0,25	0,23	0,15
Окисляемость, мгО ₂ /дм ³	2,14	3,17	6,45	1,35

В табл. 2 представлены некоторые показатели, характеризующие гидрогеохимические среды этих водозаборов.

Характеристика фактического материала и методов исследований

Изучаемые осадки, отобранные на технологическом оборудовании водозаборов, представляют собой смесь высокодисперсных и плохо окристаллизованных минералов, которые являются проблемными объектами исследований.

В связи с этим нами помимо традиционного комплекса физико-химических методов исследований (силикатный химический, спектральный, рентгеновский и термогравиметрический анализы, инфракрасная спектроскопия, съемка на растворе и микродифракция и съемка на просвечивающем электронных микроскопах) было использовано расчетное гидрогеохимическое тестирование вероятности того или иного современного гидрогенного минералообразования (расчеты равновесий вод с минералами).

Проведенное тестирование свидетельствует, что воды региона, независимо от ландшафтно-климатических условий и состава водовмещающих отложений, недонасыщены относительно первичных алюмосиликатов (микроклина, анортита, альбита, мусковита), хлоридов (сильвина, карналлита, хлормagneзита), сульфатов (ангидрита, меркаллита, кизерита, тенардита, мирабилита, гипса, барита, целестина), ряда вторичных алюмосиликатных минералов (хлорита, Na-, K-монтмориллонитов) и карбонатов (витерита, калицинита, магнезита, несквегонита, родохрозита, термонатрита, натроны, троны, нахколита, смитсонита), в связи с чем присутствие указанных минералов в осадках, формирующихся на водозаборах, маловероятно.

Вместе с тем подземные воды четвертичных и палеогеновых отложений равновесны или близки к равновесию с гетитом, гематитом, магнетитом, каолинитом, Са-монтмориллонитом, кварцем, кальцитом, арагонитом, сидеритом, а воды палеозойских образований, кроме того, еще и с Mg-монтмориллонитом, иллитом и в отдельных случаях с доломитом и родохрозитом. Соответственно в составе минеральных новообразований систем водоснабжения следует ожидать присутствия этих минералов в количествах и соотношениях, отражающих конкретный химический состав водной среды, из которой они формируются.

Морфология и внутреннее строение минеральных новообразований

На технологическом оборудовании водозаборов формируются минеральные осадки двух типов: бесструктурные охристые массы и минеральные агрегаты, которые обладают жестким структурированным каркасом и по комплексу признаков могут быть отнесены к оолитам. Морфологические особенности осадков связаны главным образом с гидродинамической обстановкой осадконакопления [5].

Охристые массы образуются в условиях относительно свободного водного потока на оборудовании эксплуатационных скважин (рис. 2), а также при отстаивании вод, использованных для промывки зернистых фильтров. Они имеют сметанообразную и пастообразную консистенцию, при высыхании твердеют, но легко растираются в пыль.

Оолиты формируются на загрузке зернистых фильтров очистных сооружений (рис. 3) и имеют слоистое концентрическое строение (рис. 4, 5), сохраняющееся после сушки на воздухе, их агрегаты разрушаются только при механическом воздействии.

В наиболее совершенных оолитах хорошо выражены структурные элементы строения: ядро, слой, зона. Ядра — центральные части оолитов — представлены одним или несколькими зернами фильтрующей загрузки, на поверхности которых происходит отложение из раствора послойных минеральных образований. Слой —



Рис. 2. Осадки на внутренней поверхности насосного фланца. Водозабор Академгородка

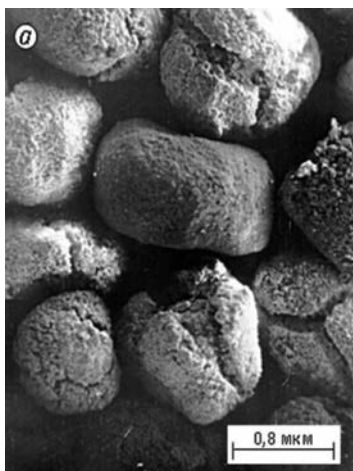


Рис. 3. Оолиты из фильтров, проработавших:
а — 10 лет; б — 20 лет. Водозабор Академгородка

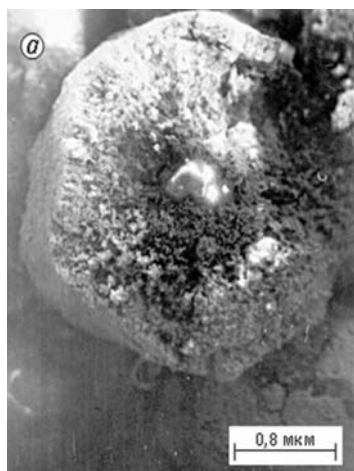


Рис. 4. Концентрически-слоистое строение оолитов из фильтров водозаборов:
а — Академгородка; б — Томска

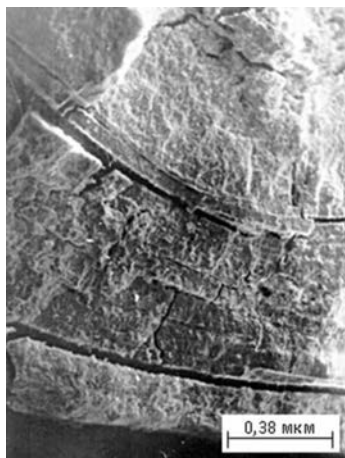


Рис. 5. Концентрически-слоистое строение оолитов. Водозабор Стрежевого

однородные по составу и окраске участки, имеющие достаточно четкие границы, нередко объединяются в определенные группы, создающие зональность строения оолитов. Зональность подчеркивается развитием трещин, генетическая природа которых предопределена слабыми структурными связями материала пограничных слоев, имеющих различный вещественный состав.

Наиболее жестким структурным каркасом при менее выраженной слоистости обладают оолиты из фильтров обезжелезивания подземных вод палеозойских образований. Различаются также оолиты, сформировавшиеся на фильтрах водозаборов, эксплуатирующих палеогеновые образования в условиях юга и севера. Оолиты из фильтров палеогеновых образований юга имеют концентрически-скорлуповатое строение, тогда как оолиты из фильтров палеогеновых образований севера имеют концентрически-слоистое строение и отличаются более крупными размерами.

Пространственная организация вещества имеет параметры структуры коагуляционного типа. Экспериментальные и натурные исследования, проведенные нами, свидетельствуют, что установленные в оолитах волокнистая, колломорфная, колломорфно-глобулярная и глобулярная микроструктуры формируются последовательно как звенья единой эволюционной цепи осаждения и преобразования минерального вещества [6].

Пространственная организация вещества имеет параметры структуры коагуляционного типа. Экспериментальные и натурные исследования, проведенные нами, свидетельствуют, что установленные в оолитах волокнистая, колломорфная, колломорфно-глобулярная и глобулярная микроструктуры формируются последовательно как звенья единой эволюционной цепи осаждения и преобразования минерального вещества [6].

Химический состав минеральных новообразований

Результаты химического анализа осадков представлены в табл. 3. В их среднем валовом составе преобладают оксиды железа и алюминия (более 37 и 21 % соответственно), а содержание отдельных элементов подчеркивает региональную геохимическую специализацию ландшафта и геолого-структурной обстановки. Особенно это заметно на примере марганца. Максимальное содержание MnO, как и следовало ожидать, исходя из состава воды, характерно для осадков водозабора Академгородка, эксплуатирующего воды палеозойских отложений. Содержание MnO в осадке на зернистой загрузке фильтра равно здесь 39,1 %, что на один-два порядка выше, чем в осадках фильтров Томского, Кисловского и Стрежевского водозаборов (3,35, 0,8 и 0,4 % соответственно). Следует обратить внимание, что на водозаборе Академгородка содержание MnO в осадках скважин, по сравнению с фильтром и отстойником, мало и колеблется от 0,11 до 0,65 %, составляя в среднем 0,54 %.

По количеству железа осадки из вод различных отложений более однородны, чем по марганцу. Его содержание в осадках на фильтрах Кисловского, Стрежевского и Томского водозаборов от 39,4 до 28,44 %, а особенности распределения Fe₂O₃ в осадках на водозаборе Академгородка (малое, 12,59 %, количество на фильтрах обезжелезивания и большое, 43,56 %, — в осадках скважин) объясняют существенным увеличением роли оксидов кальция и магния (в сумме до 20 %),

Таблица 3. Химический состав осадков на водозаборах Томской области, %

Компо- ненты	Место отбора пробы												Сред- нее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
SiO ₂	6,34	9,51	3,85	3,56	12,9 8	6,17	6,20	5,69	3,82	3,58	4,58	4,84	5,93
Al ₂ O ₃	17,44	18,38	22,12	7,99	19,03	24,50	28,54	26,42	23,78	22,54	23,09	25,70	21,63
Fe ₂ O ₃	28,44	33,27	39,94	12,59	31,80	44,41	46,75	46,81	43,99	43,57	36,59	42,84	37,58
TiO ₂	0,06	0,07	0,09	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,08	0,05	0,05	0,04	0,06
MnO	3,35	0,40	0,80	39,10	5,98	0,43	0,43	0,48	0,65	0,31	0,11	0,33	4,36
CaO	5,63	0,83	6,03	8,93	6,47	3,00	5,38	4,96	4,16	5,06	4,21	1,71	4,70
MgO	2,70	0,01	0,01	9,99	1,10	0,01	0,35	0,26	0,01	0,01	1,21	0,01	1,31
SO ₃	0,12	0,11	1,92	0,05	0,06	0,26	0,08	0,11	0,18	0,16	0,11	0,31	0,29
P ₂ O ₅	10,29	11,06	8,17	2,49	9,60	3,98	0,90	3,46	3,80	6,41	11,41	4,67	6,35
K ₂ O	0,42	0,68	0,40	0,10	0,04	0,54	0,38	0,30	0,41	0,46	0,44	0,49	0,39
Na ₂ O	0,27	0,31	0,30	0,09	0,02	0,34	0,16	0,20	0,22	0,22	0,36	0,37	0,24
п.п.п.	24,94	25,37	16,37	14,16	12,88	16,31	10,78	11,27	18,90	17,63	17,84	18,69	17,10
Сумма	100,00	100,00	100,00	99,10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,94
Гумус	4,88	7,43	3,10	н.обн.	1,69	2,50	2,17	3,96	2,59	2,24	4,95	2,38	3,16
Mn/Fe	0,13	0,01	0,02	3,42	0,21	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,003	0,01	0,32

Примечание. Фильтры обезжелезивания на водозаборах: 1 — Томска, 2 — Стрежевого, 3 — Кисловки, 4 — Академгородка; 5 — отстойник водозабора Академгородка; оборудование скважин водозабора Академгородка: 6 — скв. № 2, водомер; 7 — скв. № 2, внешняя поверхность водоподъемных труб; 8 — скв. № 8, внутренняя поверхность водоподъемных труб; 9 — скв. № 9, насос; 10 — скв. № 3, насос; 11 — скв. № 5, внутренняя поверхность водоподъемных труб; 12 — скв. № 6, внутренняя поверхность водоподъемных труб. Химический анализ выполнен в лаборатории кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ, аналитик Т.П. Соловьева.

выпадающих на геохимическом барьере при дегазации углекислоты. В подземных водах палеогеновых отложений содержание Ca и Mg мало, соответственно невелико и количество их оксидов в формирующихся осадках.

Закономерности распределения оксидов алюминия подобны распределению железа, хотя их относительное содержание в 1,5–2 раза ниже. В осадках скважин водозабора Академгородка содержание Al₂O₃ колеблется от 22,54 до 28,54 %, в осадках на фильтрах водозаборов — от 7,99 до 22,12 %.

Обращает на себя внимание повышенное содержание фосфатов и их тесная связь с органическими веществами. Известно, что гумус способен поглощать фосфат-ионы, и именно на водозаборах из палеогеновых отложений, воды которых обогащены органикой, в осадках на фильтрах наблюдается максимальное содержание P₂O₅ (10,29 и 11,06 %) и гумуса (4,88 и 7,43 %). Наличие фосфатов в осадке из фильтра при полном отсутствии гумуса (водозабор Академгородка) означает, что наряду с органо-фосфатными соединениями возможно образование железозамещенных алюмофосфатных образований, а в отдельных случаях — самостоятельной минеральной фазы. Принимая во внимание, что подвижность фосфора в подземных водах выше, чем железа и алюминия, можно ожидать повышенного содержания фосфора в осадках отстойника, о чем и свидетельствуют результаты анализов.

Распределение в осадках оксидов натрия, калия, титана и серы не обнаруживает четкой закономерности, а содержание выражается сотыми и десятными долями процента.

Формирующиеся минеральные новообразования помимо основных компонентов выводят из раствора и элементы-примеси. Их накопление в осадках зависит от адсорбционных свойств гидроксидов и оксидов железа и марганца. В новообразованиях водозабора Академгородка максимальное содержание никеля, кобальта и цинка обнаруживается в марганцовистых осадках фильтров. Другие микроэлементы, по-видимому, ассоциируются с железистой фазой и органикой.

Минеральный состав

Проведенные минералогические исследования осадков позволили идентифицировать 24 минерала, в том числе 9 оксидных и гидроксидных, 4 карбонатных, 8 фосфатных и 3 алюмосиликатных (табл. 4).

Анализ полученного материала позволяет утверждать, что, несмотря на единую технологическую направленность водоподготовки (обезжелезивание), минералогический состав осадков, формирующихся на водозаборах, имеет некоторые специфические особенности, обусловленные ландшафтно-климатическими условиями расположения водозаборов и типом водовмещающих отложений эксплуатируемых горизонтов.

В осадках на оборудовании большинства скважин водозабора Академгородка преобладают существенно железистые оксидные и гидроксидные минералы (от 45 до 60%) — ферригидрит, гетит, реже — гематит. В меньших, но примерно равных долях определяются фосфатные, 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% от общей массы), минералы. Доля органических соединений не превышает 3–5%. Несколько особняком стоят осадки скважины № 5, для которых характерно присутствие примерно в равных соотношениях железистых оксидных и гидроксидных и фосфатных минералов (примерно по 30%) и относительно повышенное содержание органических минералов (7–10%). В осадках из фильтров этого же водозабора, проработавших 5 и менее лет, преобладают железистая, представленная ферригидритом и гематитом, и карбонатная, представленная кальцитом и арагонитом, фазы. Установлено наличие бактериального ферригидрита. В осадках из фильтров, проработавших более 10 лет, доля железистых оксидов и гидроксидов значительно меньше (10–12%), а преобладает кристаллическая марганцевая фаза (порядка 40%), основу которой составляет слоистый минерал бузерит-I или «10 Å-манганит», реже вернадит, бернесит. Для этих осадков характерно высокое содержание карбонатов (порядка 20–25%), — среди которых наряду с кальцитом и арагонитом присутствует родохрозит, небольшое количество фосфатных (5–7%) и глинистых минералов, — отсутствие органических минералов. По минералогическому составу осадки из отстойника занимают некоторое промежуточное положение между осадками скважинного оборудования и фильтров. Доля железистых оксидов и гидроксидов, представленная ферригидритом, гетитом и гематитом, составляет порядка 25–30%, карбонатных минералов — 5–7%, фосфатных 10–20%.

Таблица 4. Минеральный состав осадков на водозаборах Томской области

Минералы	Водозаборы и методы исследований																			
	Академгородка						Томска				Стрежевого			Кисловки						
	скважины			фильтры			отстойник				фильтры				фильтры			фильтры		
	ИКС	рентгеновский	ПЭМ	термический	рентгеновский	ПЭМ	ИКС	термический	рентгеновский	термический	ИКС	рентгеновский	ПЭМ	термический	ИКС	рентгеновский	ПЭМ	термический	ИКС	рентгеновский
Оксиды и гидроксиды: ферригидрит $2,5 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4,5 \text{H}_2\text{O}$	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
гетит а	+	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
лепидокрокит g																				+
гиббсит $\text{Al}(\text{OH})_3$												+								+
бернессит $\text{Na}_{0,7}\text{Ca}_{0,3}\text{Mn}_7\text{O}_{14} \cdot 2,8\text{H}_2\text{O}$						+		+												
бузерит-I MnOOH								+	+											
гематит Fe_2O_3			+				+	+	+	+	+	+	+				+	+	+	+
вернадит $\delta\text{-MnO}_2$						+	+													
кварц SiO_2											+									
Карбонаты:																				
кальцит CaCO_3	+	+	+	+	+	+				+										
арагонит CaCO_3										+	+			+						
родохрозит MnCO_3								+												
сидерит FeCO_3		+	+																	+
Фосфаты:																				
рокбриджит $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})\text{Fe}^{3+}_4[(\text{OH})_5(\text{PO}_4)_3]$												+					+	+		
вивианит $\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	+	+				+			+	+				+	+					
дюфренит $(\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_6[(\text{OH})_3/(\text{PO}_4)]_4$																	+			+
бераунит $\text{Fe}^{3+}_3(\text{OH})_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$																	+			
штрэнгит $\text{Fe}^{3+}[\text{PO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		+										+								+
скорцалит $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})\text{Al}_2[\text{OH}/\text{PO}_4]_2$		+																		
парбигит $\text{Ca}_2(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Sr}, \text{Ba})[\text{PO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$												+								

Минералы	Водозаборы и методы исследований																				
	Академгородка						Томска			Стрежевого			Кисловки								
	скважины			фильтры			отстойник			фильтры			фильтры			фильтры					
	ИКС	рентгеновский	ПЭМ	термический	ИКС	рентгеновский	ПЭМ	термический	рентгеновский	термический	ИКС	рентгеновский	ПЭМ	термический	ИКС	рентгеновский	ПЭМ	термический	ИКС	рентгеновский	
штрунцит $\text{MnFe}^3_2[\text{OH}/\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$												+									
Алюмосиликаты:																					
бейделлит $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$															+						
каолинит $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$		+		+					+	+			+					+			+
монтмориллонит $m\{\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}\} \cdot p\{(\text{Al}, \text{Fe}_3)_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2\}$							+														
Органические соединения	+		+					+		+	+			+	+	+			+		

П р и м е ч а н и е. Инфракрасная спектроскопия (ИКС) выполнена в АЦ ОИГиМ СО РАН Новосибирска на приборе Spekord-75М, аналитик Д. К. Губарева. Рентгенофазовый анализ выполнен в лаборатории кафедры физики ТГАСУ на дифрактометре ДРОН-3, аналитик А. С. Тайлашев. Электронно-микроскопические исследования (ПЭМ) проведены в лаборатории электронной микроскопии кафедры физики ТГАСУ на приборе ЭВМ-100 АК, аналитик Д. С. Лычагин.

Для этих осадков характерно высокое содержание глинистых (порядка 20%), небольшое количество марганцевых (5–7%) и незначительное органических (2–3%) минералов.

Осадки из фильтров Томского водозабора, по сравнению с осадками из фильтров водозабора Академгородка, представляют собой слабо окристаллизованные образования, но характеризующиеся слоистым строением. В их минеральном объеме преобладают гидроксиды железа — ферригидрит (в том числе бактериального происхождения), гетит, гематит, лепидокрокит (25–35%) и железистые гидрофосфаты — вивианит, штрэнгит, штрунцит и рокбриджит (20–30%). В состав осадка входят глинистые минералы группы каолинита (10–12%), карбонаты, на их долю приходится около 10–15% минеральной массы, небольшое количество марганцевых минералов. В осадке присутствует органическое вещество, возможно, в виде железистых органокомплексов (порядка 5%). Что касается четко выраженной слоистости оолитов, то плотное ядро отличается от рыхлой корочки меньшим содержанием воды и, возможно, большим количеством гематитовой составляющей.

Осадок из фильтра Стрежевского водозабора представлен в основном железистыми минералами, фосфатами (порядка 35%), оксидами и гидроксидами (порядка 20%) и глинистыми минералами (около 20%). На долю органических минералов в их минеральном объеме приходится около 10%. Обращают на себя внимание

различия внешнего и внутреннего слоев крупных оолитов: внутренний, черный, слой более обогащен органическим веществом и представляет собой тонкую полидисперсную смесь железистых гидрофосфатов (рокбриджеита, дюфренита и вивианита), гидроксидов железа (ферригидрита и гетита) и глинистых минералов (предположительно группы монтмориллонита), а верхний, коричневый, отличается меньшим количеством гумуса, глинистых минералов и большим — гидроксидов железа (ферригидрита, гетита, лепидокрокита и гематита), фосфатная фаза представлена вивианитом, дюфренитом, бераунитом, рокбриджеитом. Установлено наличие железистых органокомплексов.

Основу осадка водозабора Кисловки составляют гидроксиды железа, представленные ферригидритом, гетитом, лепидокрокитом и гематитом (порядка 40%) с незначительным количеством карбонатных (до 5–10%), глинистых каолиновой группы (до 7–10%), фосфатных, представленных штрэнгитом и дюфренитом (до 5–7%), и органических минералов (до 5%).

Использование минеральных новообразований

По нашим оценкам, на крупных водозаборах, таких как Томский, только на фильтрах обезжелезивания ежегодно формируются сотни тонн осадков (табл. 5). Не меньшее количество осадков, судя по изменению химического состава вод, формируется в прифильтровой зоне скважин и на их оборудовании (на насосах, водомерах, в трубах). Интенсивность формирования осадков находится в прямой зависимости от производительности скважин и особенностей химического состава подземных вод.

Таблица 5. Масштабы образования осадков на фильтрах водозаборов

Водозаборы	Производительность, тыс. м ³ /сут	Потери вещества на фильтрах, мг/дм ³		Масштабы образования осадков, т/год	
		по сухому остатку	по железу	по сухому остатку	по железу
Томска	231,8	5	1,5	423	141
Северска	50,26	5	1,5	91,6	30,5
Стрежевого	25,59	8	4	74,8	37,4
Томского Академгородка	2,5	24	3	21,9	2,7

Что касается утилизации осадков, образующихся при водоподготовке, то, несмотря на существующие регламенты их обработки. Нередко осадки просто сбрасываются на рельеф или в канализацию, что неблагоприятно сказывается на экологической обстановке и на состоянии канализационных сетей. В то же время существуют, хотя и немногочисленные, предложения по использованию осадков в качестве сырьевого компонента при производстве шпаклевок, мастик, гипсолиста, кладочных растворов и бетонов, выпуске портландцемента, для опудривания гранул при изготовлении керамзита, железистых пигментов для цветных строительных смесей и получения низкообжиговых керамических материалов [10].

Рассматривается возможность применения осадков в качестве удобрений и биодобавок в корм для скота [11], сорбентов для реабилитации нарушенной природной среды нефтедобывающих территорий [12, 13], удаления тяжелых металлов из сточных вод [10].

Реализация этих предложений сдерживается низкой экономической рентабельностью, технологическими сложностями выделения твердой составляющей из промывных вод, слабой изученностью потребительских свойств минеральной фазы. Однако, учитывая, что задачей использования осадков является не прямой экономический эффект, а лишь получение дополнительных выгод при решении экологических проблем, этим вопросам необходимо уделять самое пристальное внимание.

Заключение

Осадки, образующиеся в системах водоснабжения, представляют собой гидрогенные минеральные новообразования осадочного типа и относятся к группе природно-техногенных образований, что предопределяет методику и методы их исследований, в ходе которых необходимо изучать не только состав осадков, но и гидрогеохимические и технические условия (характеристики) осадкообразующей среды.

На техническом оборудовании водозаборов формируются минеральные агрегаты двух морфологических типов: охристые массы — на скважинном оборудовании и в отстойниках и оолиты — на зернах загрузки фильтров. Пространственная организация вещества имеет параметры структуры коагуляционного типа. В оолитах выделены колломорфная, колломорфно-глобулярная и глобулярная микроструктуры.

В химическом составе минеральных новообразований преобладают соединения железа, алюминия, фосфора, кальция, марганца. Осадки представляют собой полиминеральную смесь, основу которой составляют железистая и марганцевая фазы. Подчиненную роль играют фосфатная, карбонатная и алюмосиликатная фазы. Железистая фаза представлена ферригидритом, гетитом, гематитом, лепидокрокитом, марганцевая — бузеритом-1, вернадитом, фосфатная — вивианитом, рокбриджеитом, штрэнгитом, дюфренитом, штрунцигом, бераунитом, скорзалитом и парбигитом, карбонатная — кальцитом, арагонитом, сидеритом, родохрозитом. Алюмосиликатная фаза представлена глинистыми минералами каолинового и монтмориллонитового ряда — каолинитом, монтмориллонитом и бейделлитом.

Структурно-вещественный состав минеральных новообразований зависит от гидрогеохимического состояния осадкообразующей среды, времени работы фильтрующей загрузки и параметров технологических процессов.

Прикладное значение результатов комплексного исследования осадков, образующихся на техническом оборудовании водозаборов из подземных источников, связано с проблемой улучшения качества водоподготовки, утилизации осадков, перспективами освоения их как специфического минерального сырья, для чего требуется знать не только валовой состав, но также состав и соотношение исходных минеральных индивидов. Успехи этого направления изучения осадков во многом будут зависеть от удачного сочетания методов исследования и глубины интерпретации полученных результатов, что предполагает применение знаний,

накопленных в различных областях науки и техники. В этой связи нам представляется целесообразным при разведке месторождений производить оценку не только эксплуатационных запасов подземных вод, но и содержащихся в ней запасов минерального сырья. При выборе технологий водоподготовки необходимо учитывать также прогноз эволюционных изменений гидрогеохимических условий, вызванных эксплуатацией месторождений, что в некоторых случаях может привести к пересмотру первоначальных технологических схем.

Литература

1. Исследование осадка, образующегося на фильтрах обезжелезивания / Архипенко Д. К., Столповская В. Н., Григорьева Г. Н., Артеменок Н. Д., Баталова В. Г. // Химия и технология воды. 1986. Т. 8. С. 62–64.
2. Дутова Е. М., Покровский Д. С., Вологодина И. В. Гидрогеохимические среды и минеральные новообразования Томского водозабора из подземных источников // Известия вузов. Строительство. 2010. № 11–12. С. 54–61.
3. Покровский Д. С., Дутова Е. М., Вологодина И. В. Минеральные новообразования на Томском водозаборе из подземных источников // Обской вестник. 2001. № 1–2. С. 113–121.
4. Минеральные новообразования на водозаборе г. Стрежевого / Покровский Д. С., Дутова Е. М., Вологодина И. В., Рогов Г. М., Тайлашев А. С. // Вестник ТГАСУ. 2001. № 1. С. 136–146.
5. Покровский Д. С., Дутова Е. М., Рогов Г. М., Вологодина И. В. Состав минеральных новообразований на водозаборах из подземных источников Томской области Д. С. // Изв. вузов. Строительство. 2002. № 4. С. 92–96.
6. Минеральные новообразования на водозаборах Томской области / Покровский Д. С., Дутова Е. М., Рогов и др.; под ред. Д. С. Покровского. Томск: НТЛ, 2002. 176 с.
7. Рогов Г. М., Покровский Д. С., Дутова Е. М. Некоторые проблемы водоподготовки на водозаборах из подземных источников // Изв. вузов. Строительство. 1993. № 9. С. 98–102.
8. Кармалов А. И., Филимонова С. В. Анализ причин кольматации и коррозии оборудования водозаборных скважин в условиях повышенной техногенной нагрузки // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9, ч. 1. С. 16–20.
9. Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швеиц В. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
10. Утилизация отходов водоподготовки станций обезжелезивания / Усова Н. Т., Лукашевич О. Д., Герб Л. В., Гончаров О. Ю. // Водоочистка. 2012. № 2. С. 33–40.
11. Лисецкий В. Н., Брюханцев В. Н., Андрейченко А. А. Улавливание и утилизация осадков водоподготовки на водозаборах г. Томска. Томск: НТЛ, 2003. 164 с.
12. Новоселова Л. Ю., Сироткина Е. Е., Погадаева Н. И. Утилизация осадков водоподготовки в процессах извлечения нефти из водных сред // Нефтехимия, 2008. Т. 48, № 1. С. 65–68.
13. Сироткина Е. Е., Волкова Г. И. Материалы для очистки воды от нефтепродуктов // Экология и промышленность России, 2007. № 9. С. 26–27.

References

1. Issledovanie osadka, obrazuiushchegosia na fil'trakh obezzhelezivaniia [Investigation of sludges forming on deironing filters]. Eds Arkhipenko D. K., Stolpovskaia V. N., Grigor'eva G. N., Artemenok N. D., Batalova V. G. *Khimiia i tekhnologiia vody* [Journal of Water Chemistry and Technology], 1986, vol. 8, pp. 62–64. (In Russian)
2. Dutova E. M., Pokrovskii D. S., Vologdina I. V. Gidrogeokhimicheskie sredy i mineral'nye novoobrazovaniia Tomskogo vodozabora iz podzemnykh istochnikov [Hydrogeochemical media and mineral growths of Tomsk intake from underground sources]. *Izvestiia vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 2010, no. 11–12, pp. 54–61. (In Russian)
3. Pokrovsky D. S., Dutova E. M., Vologdina I. V. Mineral'nye novoobrazovaniia na Tomskom vodozabore iz podzemnykh istochnikov [Mineral growths at Tomsk intake from underground sources]. *Obskoi vestnik*, 2001, no. 1–2, pp. 113–121. (In Russian)

4. Mineral'nye novoobrazovaniia na vodozabore g. Strezhevogo [Mineral growths at Strezhevoy intake]. Eds Pokrovskii D. S., Dutova E. M., Vologdina I. V., Rogov G. M., Tailashev A. S. *Vestnik TGASU*, 2001, no. 1, pp. 136–146. (In Russian)
5. Pokrovsky D. S., Dutova E. M., Rogov G. M., Vologdina I. V. Sostav mineral'nykh novoobrazovaniia na vodozaborakh iz podzemnykh istochnikov Tomskoi oblasti D.S. [The content of mineral growths at intakes from underground sources of Tomsk region]. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 2002, no. 4, pp. 92–96. (In Russian)
6. Pokrovsky D.S., Dutova E.M., Rogov G.M., et al. *Mineral'nye novoobrazovaniia na vodozaborakh Tomskoi oblasti [Mineral growths at intakes of Tomsk region]*. Eds D.S. Pokrovsky. Tomsk, NTL Publ., 2002. 176 p. (In Russian).
7. Rogov G. M., Pokrovsky D. S., Dutova E. M. Nekotorye problemy vodopodgotovki na vodozaborakh iz podzemnykh istochnikov [Some problems of water treatment at intakes from underground sources]. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 1993, no. 9, pp. 98–102. (In Russian)
8. Karmalov A. I., Filimonova S. V. Analiz prichin kol'matatsii i korrozii oborudovaniia vodozabornykh skvazhin v usloviakh povyshennoi tekhnogennoi nagruzki [Analysis of the causes of mudding and corrosion of water wells' equipment in conditions of high technogenic load]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika [Water Supply and Sanitary Technique]*, 2011, no. 9, ch. 1, pp. 16–20. (In Russian)
9. Krainov S. R., Ryzhenko B. N., Shvets V. M. *Geokhimiia podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty [Geochemistry of underground water. Theoretical, applied and ecological aspects]*. Moscow, Nauka Publ., 2004. 677 p. (In Russian)
10. Usova N. T., Lukashevich O. D., Gerb L. V., Goncharov O. Iu. Utilizatsiia otkhodov vodopodgotovki stantsii obezhelezivaniia [Waste recycling after water treatment of deironing stations]. *Vodoochistka [Water Treatment]*, 2012, no. 2, pp. 33–40. (In Russian)
11. Lisecky V. N., Brjuhancev V. N., Andrejchenko A. A. *Ulavlivanie i utilizatsiia osadkov vodopodgotovki na vodozaborakh g. Tomsk [Capturing and recycling of sludges after water treatment at intakes of Tomsk]*. Tomsk, NTL Publ., 2003. 164 p. (In Russian)
12. Novoselova L. Iu., Sirotkina E. E., Pogadaeva N. I. Utilizatsiia osadkov vodopodgotovki v protsessakh izvlecheniia nefi iz vodnykh sred [Sludges' recycling after water treatment in processes of oil extracting from aqueous media]. *Neftekhimiia [Petroleum Chemistry]*, 2008, vol. 48, no. 1, pp. 65–68. (In Russian)
13. Sirotkina E. E., Volkova G. I. Materialy dlia ochistki vody ot nefteproduktov [Materials for water purification from oil products]. *Ekologiia i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*, 2007, no. 9, pp. 26–27. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 26 марта 2015 г.

Контактная информация:

Вологодина Ирина Валентиновна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент;
irvalvo@inbox.ru

Дутова Екатерина Матвеевна — доктор геолого-минералогических наук, профессор;
dutova@sibmail.com

Покровский Дмитрий Сергеевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор;
dsp@sibmail.com

Покровский Виталий Дмитриевич — аспирант; vdp@sibmail.com

Радюк Илья Владимирович — аспирант; radyuk_ilya@mail.ru

Vologdina I. V. — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor;
irvalvo@inbox.ru

Dutova E. M. — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor; dutova@sibmail.com

Pokrovsky D. S. — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor; dsp@sibmail.com

Pokrovsky V. D. — Post graduate; vdp@sibmail.com

Radyuk I. V. — Post graduate; radyuk_ilya@mail.ru