

УДК 556.314

## ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АКАДЕМИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ, Г. ТОМСК)

Кузеванов Константин Константинович<sup>1</sup>,  
kuzevanovkk@tpu.ru

Дутова Екатерина Матвеевна<sup>1</sup>,  
dutova@tpu.ru

Кузеванов Константин Иванович<sup>1</sup>,  
kki@tpu.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

**Актуальность** работы обусловлена необходимостью изучения направления и динамики изменчивости химического состава подземных вод в результате длительной эксплуатации месторождения. Подземные воды используются для водоснабжения жилого района г. Томска. Подтверждение ранее выявленных закономерностей и механизмов, приводящих к изменениям гидрогеохимических условий, позволит выработать рекомендации по оптимизации режима работы водозабора, его технического оснащения, усовершенствования системы водоподготовки.

**Цель:** оценить тенденции временного изменения концентраций общего железа, сульфат-иона, величины общей жесткости и pH в природных водах в результате длительного периода эксплуатации водозабора; по выявленным закономерностям предложить возможные механизмы изменчивости гидрогеохимических условий месторождения подземных вод.

**Методы:** обобщение и статистический анализ химического состава подземных вод, полученного в результате многолетних режимных наблюдений.

**Результаты.** Анализ исходных материалов по результатам исследования службами водозабора концентраций компонентов и показателей химического состава подземных вод (железа общего, сульфат-иона, pH, общей жесткости) эксплуатируемого месторождения, представленный в виде многолетних рядов наблюдения, наглядно показывает, что величины оцениваемых параметров на протяжении изученного периода эксплуатации водозабора значительно и неравномерно изменялись. Подобные колебания в динамике показателей состава вод объясняются неравномерным во времени перераспределением объема отбираемой воды из эксплуатационных скважин водозабора. Тем не менее общие тренды основных направлений изменчивости, такие как снижение содержания общего железа, рост концентрации сульфат-иона, рост общей жесткости, снижение величины pH, установленные ранее проведенными исследованиями, остаются прежними.

### Ключевые слова:

Месторождение подземных вод, химический состав подземных вод, мониторинг подземных вод, изменение гидрогеохимического режима, водоснабжение, Академическое месторождение.

### Введение

Длительная эксплуатация месторождения подземных вод в Академгородке г. Томска позволяет выявить некоторые особенности эволюции химического состава подземных вод, которые представляют интерес с позиций исследования условий работы водозаборов из подземных источников, осуществляющих эксплуатацию подземных вод в аналогичных гидрогеологических условиях [1–6]. К числу подобных водозаборов относятся многочисленные источники локальных систем водоснабжения в мелких населенных пунктах на территории Томь-Яйского междуречья [7, 8].

Целью работы является уточнение ранее выявленных закономерностей и механизмов поведения общего железа, сульфат-иона, величины общей жесткости и pH, обусловленных изменением гидрогеохимических условий месторождения под воздействием периодического изменения режима эксплуатации водозабора. Весь период длительной работы водозабора сопровождается перераспределением нагрузки между водозаборными скважинами. Результаты анализа длительных режимных наблюдений позволяют разработать рекомендации по оптимизации режима эксплуатации водозаборных скважин, технического

оснащения водозабора и усовершенствования системы водоподготовки.

### Характеристика месторождения подземных вод

Водозабор Академического месторождения подземных вод эксплуатируется с 1974 г., обеспечивая водой питьевого качества микрорайон Академгородка с населением 6000 человек. Групповой водозабор в разное время объединял работу от четырех до тринадцати гидрогеологических скважин, расположенных на одной водозаборной площадке размером полтора на два километра с максимальным расстоянием до пятисот метров между отдельными водозаборными сооружениями, глубина которых достигает 110 м (рис. 1, 2). Фильтры скважин расположены на глубинах от 14 до 80 м. В качестве водоподъемного оборудования использованы погружные скважинные насосы, глубина установки которых изменяется в пределах от 45 до 85 м.

Водовмещающие породы эксплуатационной части гидрогеологического разреза приурочены к интервалу зоны экзогенной трещиноватости, затухающей с глубиной. Поэтому производительность водозаборных скважин существенно изменяется как по площади во-

дозаборного участка, так и по времени эксплуатации отдельных гидрогеологических скважин в диапазоне от 100 до 400 м<sup>3</sup>/сут. Это определяет и колебание

суммарного дебита водозабора от 2380 до 3165 м<sup>3</sup>/сут, который в среднем характеризуется величиной 2560 м<sup>3</sup>/сут.

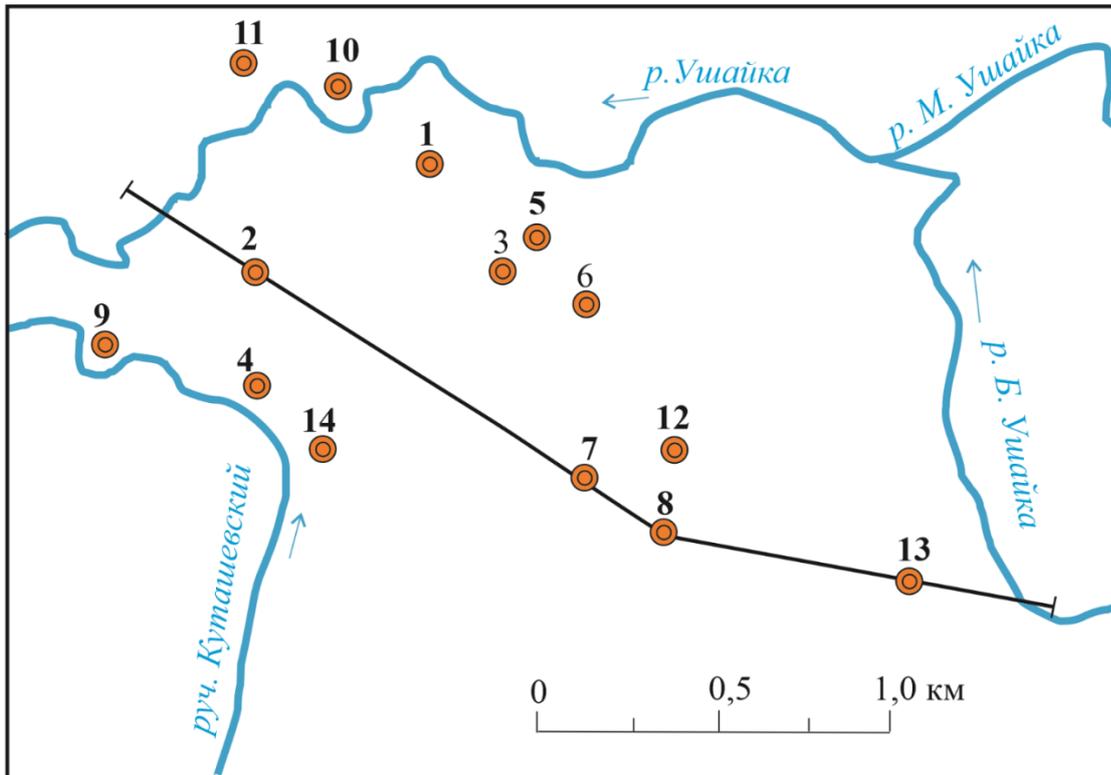


Рис. 1. Схема размещения скважин водозабора [9]

Fig. 1. Layout of water intake wells [9]

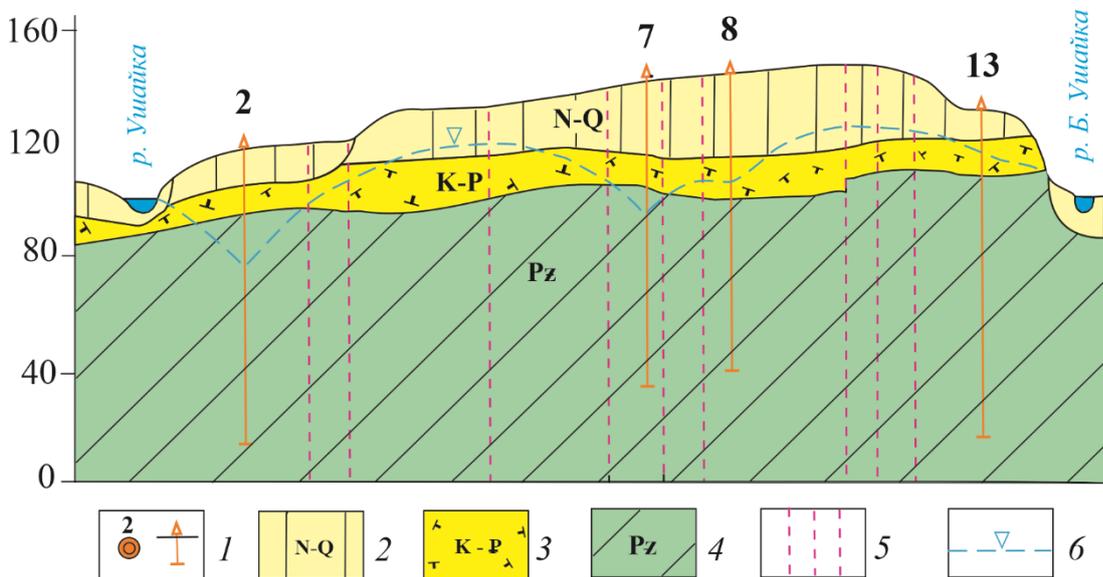


Рис. 2. Схематический гидрогеологический разрез в пределах Академического месторождения (фактические материалы В.Л. Карлсон, 1990, Е.М. Дутова 1990): 1 – эксплуатационная скважина и её номер; 2, 3 – водоносные комплексы: 2 – неоген-четвертичных отложений, 3 – палеозойских отложений; 4 – кора выветривания; 5 – разрывные нарушения; 6 – положение подземных вод

Fig. 2. Schematic hydrogeological section within the Akademicheskoe field: 1 – production well and its number; 2, 3 – aquifers: 2 – Neogene-Quaternary deposits, 3 – Paleozoic deposits; 4 – weathering crust; 5 – discontinuous violations; 6 – position of groundwater. Factual materials of V.L. Carlson, 1990, E.M. Dutova 1990

С точки зрения геологического строения месторождение подземных вод входит в границы Колывань-Томской складчатой зоны. Водовмещающие горные породы, рассечённые дайками пермо-триасового возраста, представлены трещиноватыми толщами водоносного комплекса нижнекаменноугольных отложений с многочисленными тектоническими нарушениями. Мощность водовмещающих отложений сильно изменчива и, по данным геофизических исследований, колеблется в широких пределах от 9 до 85 м. Гидрогеологический разрез характеризуется чрезвычайно высокой степенью неоднородности фильтрационных свойств, заметно изменяющихся по площади месторождения. Различия в количественных показателях водообильности горных пород, таких как расходы отдельных гидрогеологических скважин, и их удельные дебиты по разным участкам площади водозабора могут достигать двух математических порядков.

По данным разведочных работ, выполненных ранее, установлено, что наиболее водообильная часть гидрогеологического разреза приурочена к зоне экзогенной трещиноватости и тектоническим нарушениям. Для этих участков месторождения характерны удельные дебиты скважин, изменяющиеся в пределах 0,3–2,1 л/с при их производительности 5,7–23,0 м<sup>3</sup>/с, что обусловлено высокой водообильностью водовмещающих отложений.

По качеству пресные подземные воды характеризуются преимущественно гидрокарбонатным анионным составом с различным процентным соотношением катионов кальция и магния. Отмечается повышенная жёсткость подземных вод от градации умеренно жёсткой до жёсткой. Состав подземных вод по основным показателям соответствует общим региональным особенностям и в целом вписывается в типичную характеристику подземных вод ландшафтной зоны тайги Колывань-Томской складчатой зоны.

Анализ длительных режимных гидрогеохимических наблюдений позволяет выделить некоторые важные закономерности изменения химического состава подземных вод, которые находятся в тесной зависимости от литологического состава водовмещающих отложений, генетического типа подземных вод и сезонных колебаний их уровня [10]. Перечисленные факторы с разной степенью интенсивности проявляются на различных участках площадного водозабора, что позволяет объединить эксплуатационные скважины в три группы. Такое условное разделение водозаборных скважин предполагает, что отмеченные различия, зафиксированные в особенностях химического состава, являются не случайными, а унаследованно отражают особенности гидрогеологического разреза и условия формирования подземных вод.

К группе № 1 отнесены эксплуатационные скважины, вскрывшие подземные воды преимущественно тектонических нарушений, характеризующиеся повышенной водообильностью. По химическому составу подземные воды, получаемые из этих скважин, имеют относительно высокую минерализацию и характеризуются повышенной концентрацией углекислоты, ионов железа и марганца. Для них характерен повышенный уровень жёсткости. Отмеченные пока-

затели часто превышают предельно допустимые концентрации, установленные для систем хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Ко второй группе отнесены скважины, которые добывают воду с минимальной минерализацией. Как правило, в подземных водах этих скважин одновременно фиксируется самый низкий уровень жёсткости. Это позволяет с высокой степенью вероятности предположить, что подземные воды на этом участке имеют тесную связь с поверхностными водными объектами. Дополнительно в пользу наличия такой связи свидетельствует то, что в химическом составе обнаруживаются загрязнители, типичные для поверхностных вод, хотя и в количествах, не превышающих норм для воды питьевого качества.

К третьей группе отнесены скважины, в которых показатели химического состава подземных вод занимают промежуточное положение по гидрогеохимическим критериям первой и второй групп. Это позволяет предположить, что скважины данной группы эксплуатируют подземные воды зоны экзогенной трещиноватости, имеющей региональное распространение.

Особенностью химического состава подземных вод этой группы скважин является их удовлетворительное качество за исключением некоторых показателей, среди которых превышают предельно допустимые концентрации питьевых кондиций ионы железа и марганца, показатели окисляемости и жёсткости. Превышение установленных норм по железу и марганцу фиксируется практически постоянно, а по отношению к показателям жёсткости и окисляемости только периодически и не по всем скважинам группы.

#### **Закономерности изменения химического состава эксплуатируемого горизонта**

Под влиянием длительной эксплуатации месторождения подземных вод на территории водозаборного участка сформировалась депрессионная воронка, размеры которой оцениваются площадью в 2,5 км<sup>2</sup>. Увеличение площади распространения ограничено в восточном и северном направлениях в силу наличия тесной гидродинамической связи подземных вод с поверхностными водами рек Ушайка и Большая Ушайка. При этом максимальные величины понижения уровня подземных вод в отдельных наиболее нагруженных скважинах достигают 17–23 м. Эксплуатация подземных вод осуществляется преимущественно в условиях безнапорного фильтрационного потока, проявления местного напора встречаются только на отдельных участках. В таких гидродинамических условиях снижение уровня подземных вод под воздействием водотока сопровождается осушением водовмещающих пород в зоне аэрации. Режим работы эксплуатационных скважин нельзя считать непрерывным. Общий дебит водозабора сохраняет своё постоянство, но перераспределяется между разными водозаборными скважинами. Периодические остановки насосного оборудования сопровождаются восстановлением уровня подземных вод, что определяет особый режим аэрации верхней части гидрогеологического разреза в окрестностях активных эксплуатационных скважин.

**Таблица.** Характеристики состава подземных вод по данным мониторинговой службы водозабора  
**Table.** Characteristics of the composition of groundwater according to the monitoring service of water intake

Год Year	Значение Value	Температура, °С Temperature, °C	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup> Dry residue, mg/dm <sup>3</sup>	pH, ед./ unit	Жесткость общая, мг-экв/л Total hardness, mg-eq/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup> Cl <sup>-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	Ca <sup>2+</sup> , мг-экв/л Ca <sup>2+</sup> , mg-eq/l	Mg <sup>2+</sup> , мг-экв/л Mg <sup>2+</sup> , mg-eq/l	Fe <sup>2+</sup> <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup> Fe <sup>2+</sup> <sub>total</sub> , mg/dm <sup>3</sup>
1999	Среднее/Mean	7,50	366,83	6,85	6,86	408,76	1,93	4,57	4,19	2,68	2,23
	Мин./Min.	6,50	256,80	6,40	4,40	390,50	1,05	2,14	3,40	0,60	0,71
	Макс./Max.	8,00	524,40	7,09	8,80	427,10	3,06	7,41	5,60	3,80	4,62
2000	Среднее/Mean	5,75	384,38	7,46	7,58	422,25	2,55	16,50	5,48	2,10	2,02
	Мин./Min.	4,00	304,80	7,06	5,80	378,00	0,80	0,03	4,50	1,00	0,93
	Макс./Max.	7,00	555,20	8,01	11,50	457,50	5,81	70,00	7,00	4,50	3,80
2001	Среднее/Mean	6,14	398,78	7,39	6,30	400,29	2,66	0,02	5,06	1,24	1,12
	Мин./Min.	4,50	302,00	7,20	5,00	317,29	0,53	0,00	4,00	0,80	0,27
	Макс./Max.	7,50	518,80	7,64	7,60	421,02	6,36	0,06	5,80	1,80	1,84
2002	Среднее/Mean	6,00	391,66	7,15	6,83	423,54	2,78	33,43	5,43	1,40	2,56
	Мин./Min.	5,00	300,40	6,97	5,00	372,20	0,55	3,00	4,60	0,40	0,80
	Макс./Max.	7,00	518,00	7,50	9,20	475,44	6,37	75,00	7,20	2,00	5,51
2003	Среднее/Mean	5,75	384,38	7,46	7,58	422,25	2,55	16,50	5,48	2,10	2,02
	Мин./Min.	4,00	304,80	7,06	5,80	378,00	0,80	0,03	4,50	1,00	0,93
	Макс./Max.	7,00	555,20	8,01	11,50	457,50	5,81	70,00	7,00	4,50	3,80
2004	Среднее/Mean	5,81	406,64	7,08	7,20	420,89	3,74	25,60	5,39	1,81	2,68
	Мин./Min.	4,50	375,20	6,91	5,60	402,71	1,52	0,03	4,60	1,00	0,60
	Макс./Max.	6,00	433,60	7,44	8,60	457,63	8,80	59,20	5,60	3,00	6,00
2005	Среднее/Mean	5,79	423,60	7,16	7,36	426,25	4,05	25,59	5,82	1,54	3,06
	Мин./Min.	4,50	345,20	6,51	6,50	384,41	1,05	0,03	5,00	1,00	1,05
	Макс./Max.	6,00	580,40	7,44	9,50	457,63	9,00	77,67	7,65	1,95	5,30
2006	Среднее/Mean	6,00	420,97	6,84	6,98	402,87	3,36	47,48	5,60	1,22	2,99
	Мин./Min.	6,00	327,20	6,25	5,70	335,60	1,64	2,40	4,60	0,70	0,59
	Макс./Max.	6,00	573,20	7,31	8,80	469,80	6,40	87,40	7,80	2,00	5,40
2008	Среднее/Mean	5,81	399,40	7,49	6,56	406,62	4,68	25,39	5,21	1,43	2,58
	Мин./Min.	4,50	342,00	7,16	5,50	366,11	1,85	0,03	4,50	1,00	1,03
	Макс./Max.	6,00	498,00	7,68	7,60	439,33	7,91	58,20	5,80	1,80	4,76
2009	Среднее/Mean	6,42	399,07	7,31	6,87	411,26	2,88	26,15	5,30	1,57	2,71
	Мин./Min.	4,50	320,00	7,07	5,20	323,39	1,21	0,03	4,20	1,00	0,75
	Макс./Max.	10,00	506,80	7,44	8,40	488,14	4,83	54,80	6,50	2,00	6,00
2010	Среднее/Mean	5,75	375,47	7,33	6,60	411,87	3,25	18,18	5,28	1,43	2,63
	Мин./Min.	4,50	269,20	7,10	5,90	366,11	1,41	0,03	4,90	0,70	0,88
	Макс./Max.	6,00	469,60	7,63	7,90	445,43	6,10	42,00	5,70	2,20	5,18
2011	Среднее/Mean	5,79	432,17	7,49	6,76	417,49	3,69	14,43	5,47	1,29	3,02
	Мин./Min.	4,50	367,20	7,05	5,10	372,21	1,18	0,03	4,50	0,60	0,82
	Макс./Max.	6,00	589,20	7,85	8,80	463,74	6,39	34,50	6,90	1,90	6,83
2012	Среднее/Mean	5,79	432,85	7,32	6,99	423,21	4,61	16,25	5,51	1,48	3,81
	Мин./Min.	4,50	408,80	7,10	6,50	384,41	1,75	0,03	4,70	0,80	0,83
	Макс./Max.	6,00	526,00	7,47	9,10	475,94	9,20	37,20	7,10	2,00	10,97
2013	Среднее/Mean	5,70	405,12	7,19	6,71	418,58	4,53	11,91	5,66	1,08	2,05
	Мин./Min.	4,50	367,20	6,96	6,13	378,31	1,31	0,03	5,20	1,00	0,91
	Макс./Max.	6,00	433,60	7,44	8,10	469,84	13,52	40,00	7,10	1,40	5,54
2014	Среднее/Mean	6,57	420,47	7,25	6,50	394,58	7,63	17,28	5,07	1,38	2,72
	Мин./Min.	6,00	380,00	7,07	4,90	323,39	0,77	10,10	4,20	0,50	0,84
	Макс./Max.	8,00	467,60	7,39	7,60	451,53	22,01	33,30	5,70	2,40	5,40
2015	Среднее/Mean	6,89	391,51	7,23	6,86	404,07	4,24	17,12	5,20	1,58	2,92
	Мин./Min.	6,00	343,20	6,76	6,00	353,90	0,80	6,90	4,50	0,90	0,67
	Макс./Max.	6,00	462,40	7,30	8,40	445,43	8,10	36,50	6,20	2,20	6,15
2016	Среднее/Mean	5,94	437,83	7,17	7,06	416,45	4,08	15,37	5,58	1,49	2,63
	Мин./Min.	4,50	347,20	6,98	5,30	353,90	1,55	0,03	4,50	0,80	0,60
	Макс./Max.	7,00	522,40	7,44	9,40	482,04	9,98	41,00	7,30	2,10	5,15
2017	Среднее/Mean	6,78	476,76	7,37	6,89	420,34	5,05	16,14	5,52	1,37	1,84
	Мин./Min.	6,00	333,60	6,95	6,00	341,70	0,98	4,43	4,70	0,90	0,68
	Макс./Max.	6,00	936,40	7,71	8,40	500,34	10,92	22,43	6,50	1,90	6,71
2018	Среднее/Mean	7,06	442,20	7,29	6,91	422,45	3,88	14,44	5,30	1,61	2,73
	Мин./Min.	4,50	350,20	7,13	5,30	360,01	0,86	0,03	4,70	0,60	0,87
	Макс./Max.	8,00	610,20	7,44	8,95	466,79	10,02	30,40	6,20	2,75	5,72
2019	Среднее/Mean	7,19	419,39	7,29	6,52	361,65	4,69	18,93	5,46	1,13	2,84
	Мин./Min.	4,50	365,40	7,15	5,35	114,82	2,12	0,03	4,55	0,20	0,82
	Макс./Max.	8,00	492,30	7,50	8,50	439,33	9,92	29,90	6,80	1,70	5,56

Ранее нами было установлено, что аэрация гидрогеологического разреза, связанная с изменением гидродинамических условий при эксплуатации подземных вод, является одним из ведущих факторов, который определяет эволюцию состояния системы «вода–порода». Она вызывает интенсификацию физико-химических процессов и приводит к направленному изменению гидрогеохимических условий, определяющих техногенный характер эволюции химического состава подземных вод.

Процесс аэрирования подземных вод в непосредственной близости от водозаборной скважины при её периодических остановках приводит к переходу растворённого железа в твёрдую фазу [11–14]. Длительная работа водозабора Академического месторождения подземных вод показывает, что этот процесс не только имеет место на практике, но и уверенно фиксируется падением концентрации железа в подземных водах, поступающих на головные сооружения водозабора для водоподготовки (рис. 3).

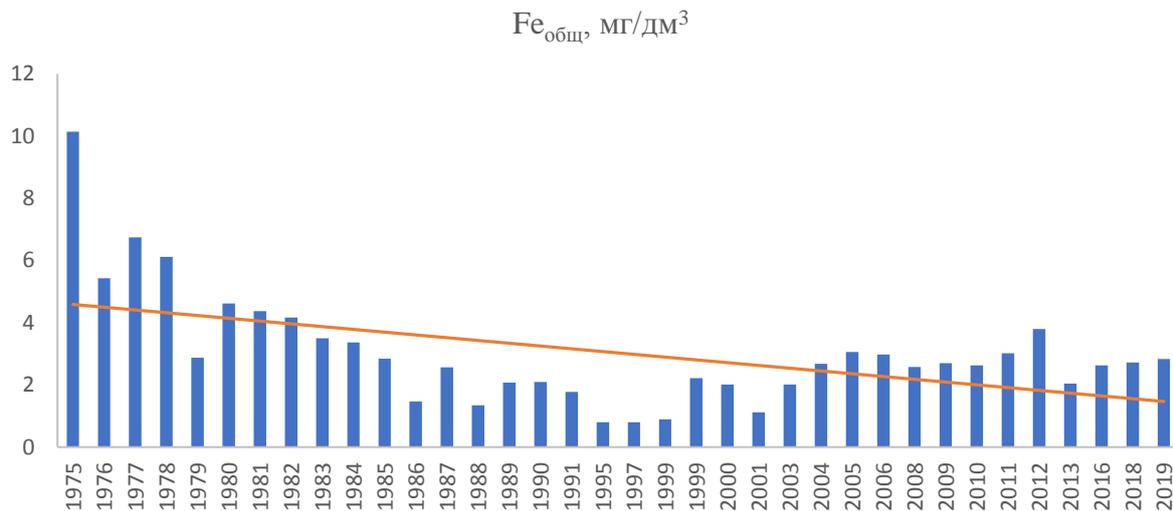


Рис. 3. Временная изменчивость железа общего

Fig. 3. Temporal variability of common iron

На графике видно, что наиболее интенсивное сокращение концентрации общего железа с 10 до 2–4 мг/дм<sup>3</sup> в водах месторождения приходится на первые несколько лет активной работы водозабора. Затем в период с 1980 по 1997 гг. фиксируется постепенное, достаточно равномерное снижение содержания до концентраций менее 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Затем наблюдается возрастание концентраций железа на протяжении 8 лет, достигающих к 2005–2006 гг. значений 3–3,5 мг/дм<sup>3</sup>, переходящего в достаточно стабильное состояние с колебаниями в пределах 1–1,5 мг/дм<sup>3</sup> и незначительной тенденцией к снижению.

С высокой долей вероятности можно предположить, что эксплуатация Академического месторождения подземных вод приводит к активизации процессов окисления в зоне аэрации не только железа, но и сульфидов. Наличие исходного материала для такого окислительного процесса объясняется известным фактом региональной пиритизации палеозойских образований фундамента. Окислительные процессы с течением времени приводят к устойчивому росту концентрации сульфат-иона в подземных водах эксплуатационных скважин (рис. 4).

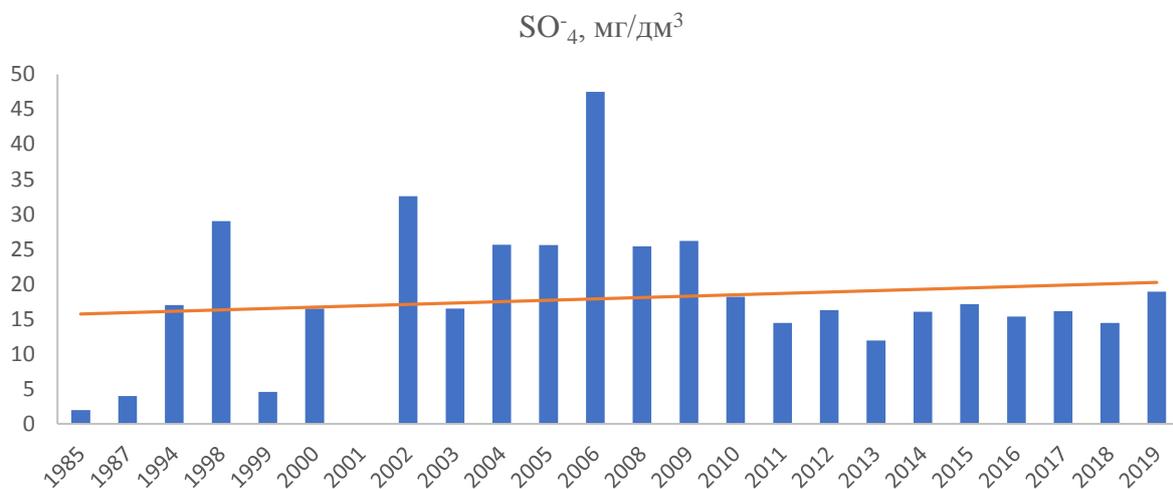


Рис. 4. Временная изменчивость сульфат-иона

Fig. 4. Temporal variability of ion sulfate

Наиболее интенсивный рост содержания компонента в водах приурочен к периоду эксплуатации водозабора до 2006 г. Концентрации с минимальных значений 1–3 мг/дм<sup>3</sup> достигают 45–47 мг/дм<sup>3</sup> в течение 22 лет. Затем содержание сульфат-иона на протяжении 6–7 лет снижается до уровня 11–15 мг/дм<sup>3</sup> и

с незначительными колебаниями остается на уровне 16–19 мг/дм<sup>3</sup>.

Процесс окисления сульфидов провоцирует другой, сопряжённый с ним, эффект снижения показателя рН. По всем эксплуатационным скважинам прослеживается подкисление подземных вод от слабо щелочных и нейтральных до слабо кислых (рис. 5).

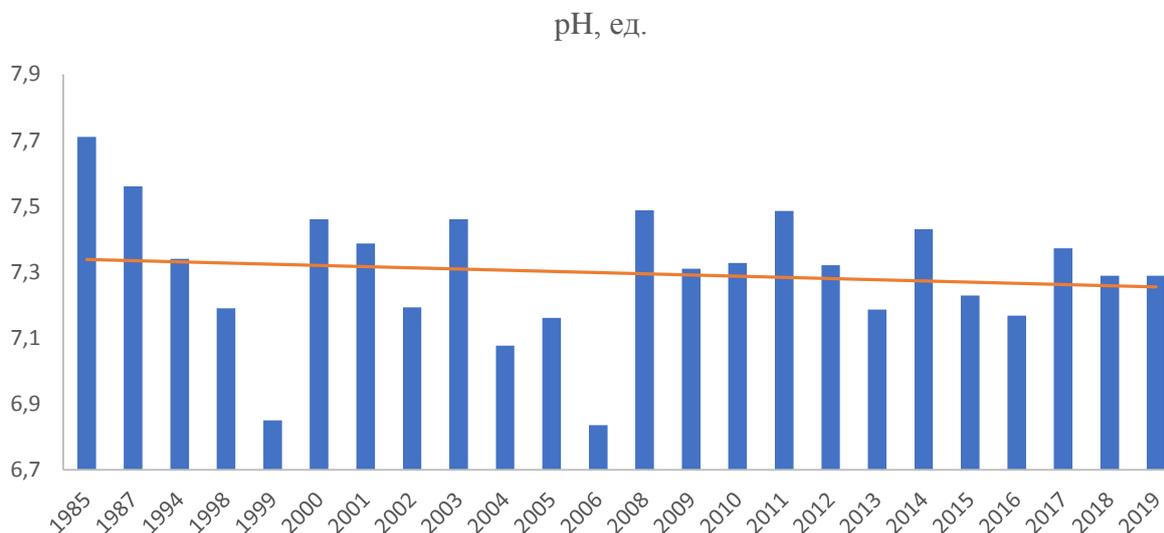


Рис. 5. Временная изменчивость рН

Fig. 5. Temporal pH variability

График изменчивости рН вод месторождения показывает достаточно широкий диапазон колебания в период 1985–2006 гг. в пределах 6,8–7,7 ед. Однако тенденция к снижению величины прослеживается достаточно четко. С 2008 г. по настоящее время общий тренд снижения величины рН сохраняется при диапазоне изменчивости 7,15–7,5 ед.

Отмеченные изменения гидрогеохимической обстановки и рост содержания сульфат-иона приводят к интенсификации продуцирования комплексных соединений, что способствует дополнительному росту и

усилению миграционной способности химических элементов (рис. 6). Результаты этих взаимосвязанных процессов приводят к общему росту концентраций компонентов химического состава подземных вод, что в свою очередь приводит к более активному переходу ионов кальция и магния в раствор. Эти тенденции изменения качества подземных вод находят отражение в результатах режимных гидрогеохимических наблюдений в виде роста не только концентраций сульфат-иона, но и в некотором увеличении общей жёсткости подземных вод [15–20].



Рис. 6. Изменение величины общей жёсткости подземных вод

Fig. 6. Change of groundwater total hardness

Увеличение общей жесткости подземных вод до 2003 г. с 5,7 до 7,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> сменяется снижением показателя до 6,5–7 мг-экв/дм<sup>3</sup> к 2009–2010 гг. и остается в этих пределах с небольшой тенденцией к росту.

### Заключение

Анализ длительной эксплуатации водозабора Академического месторождения подземных вод показывает, что под влиянием водоотбора в ближайших окрестностях эксплуатационных скважин активизируются процессы аэрации подземных вод, что сопровождается формированием окислительной обстановки и способствует переходу ионов железа из природного раствора в твердую фазу. Своеобразным катализатором этих окислительных процессов служит особый «рваный» режим эксплуатации водозаборных скважин с периодическими остановками. В условиях безнапорного характера фильтрации при снижении уровня подземных вод в границах депрессионной воронки временно увеличивается мощность аэрации до 17–23 м в наиболее нагруженных скважинах. Во время остановки насосного оборудования этот осушенный объем горных пород заполняется водой, имеющей возможность обогащения кислородом воздуха. Таким образом, в окрестностях водозаборных скважин постоянно работают подобия своеобразных насосов, прокачивающих подземные воды через участки зоны аэрации в вертикальном направлении. Этим явлением можно объяснить интенсификацию

процессов аэрации подземных вод, которая приводит к изменению природных гидрогеохимических условий под влиянием работы водозабора. В результате происходит выделение углекислоты и ионов водорода, что способствует повышению показателя кислотности водной среды. В свою очередь происходит окисление сульфидов, присутствующих в составе водовмещающих горных пород палеозойского фундамента, которое сопровождается переходом сульфат-иона в раствор. Одновременно с этим повышается растворимость карбонатов, что в конечном итоге способствует увеличению жесткости подземных вод.

На водозаборных участках, приуроченных к зонам экзогенной трещиноватости, аэрация гидрогеологического разреза на локальных участках размещения водозаборных скважин может приводить к долговременным и заметным изменениям в химическом составе подземных вод. Интенсивность влияния этого фактора контролируется изменяющимся во времени объемом водоотбора и неравномерным распределением нагрузки по объектам водозабора, что явно фиксируется на графиках изменчивости состава подземных вод. Тем не менее общие тренды основных направлений изменчивости химического состава, такие как: снижение содержания общего железа, рост концентрации сульфат-иона, рост общей жесткости, снижение величины рН, установленные ранее проведенными исследованиями, могут сохраняться в течение длительного времени.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геохимические особенности подземных вод хозяйственно-питьевого назначения республики Хакасия / Е.М. Дутова, Д.С. Покровский, В.П. Парначев, В.Д. Покровский // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – № 394. – С. 239–249.
2. Mi Lin, Asim Biswas, Bennett E.M. Identifying hotspots and representative monitoring area of groundwater changes with time stability analysis // *Science of The Total Environment*. – 2019. – V. 667. – P. 419–426.
3. Muhammad Tousif Bhatti, Arif A. Anwar, Muhammad Aslam. Groundwater monitoring and management: status and options in Pakistan // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2017. – V. 135. – P. 143–153.
4. Statistical modelling of groundwater contamination monitoring data: a comparison of spatial and spatiotemporal methods / M.I. McLean, L. Evers, A.W. Bowman, M. Bonte, W.R. Jones // *Science of The Total Environment*. – 2019. – V. 652. – P. 1339–1346.
5. Tamer Ayvaz M., Alper Elçi. Identification of the optimum groundwater quality monitoring network using a genetic algorithm based optimization approach // *Journal of Hydrology*. – 2018. – V. 563 – P. 1078–1091.
6. Jamin P., Brouyère S. Monitoring transient groundwater fluxes using the Finite Volume Point Dilution Method // *Journal of Contaminant Hydrology*. – 2018. – V. 218. – P. 10–18.
7. Geochemical groundwater peculiarities of Paleogene sediments in S-E Western Siberia artesian basin / A.A. Balobanenko, V.A. L'gotin, E.M. Dutova, D.S. Pokrovskiy, A.N. Nikitenkov, I.V. Raduk // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 11, October 2016. – V. 43. – Iss. 1. – Article number 012030.
8. Large scale treatment of total petroleum-hydrocarbon contaminated groundwater using bioaugmentation / G. Poi, E. Shahsavari, A. Aburto-Medina, P.Ch. Mok, A.S. Ball // *Journal of Environmental Management*. – 2018. – V. 214. – P. 157–163.
9. Природно-техногенные минеральные новообразования на водозаборах Томской области / И.В. Вологодина, Е.М. Дутова, Д.С. Покровский, В.Д. Покровский, И.В. Радук // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. – 2015. – № 3. – С. 58–72.
10. Dutova E.M. Geochemistry of fresh groundwater in the Altai-Sayan folded area and adjacent areas of the West Siberian plate // *Applied Geochemistry*. – 2020. – V. 120. – P. 189–197.
11. Kazak E., Pozdniakov S., Muromec N. Field study and iron reactive simulation in riverbank water supply well fields // *IAHS-AISH Publication Ser. «GQ10: Groundwater Quality Management in a Rapidly Changing World»*. – 2011. – P. 419–422.
12. Sharma S.K., Petrusovski B., Schippers J.C. Biological iron removal from groundwater // *AQUA*. – 2005. – V. 54. – № 4. – P. 239–247.
13. Electric-field enhanced reactivity and migration of iron nanoparticles with implications for groundwater treatment technologies: Proof of concept / M. Černík, J. Nosek, J. Filip, J. Hrabal, D.W. Elliott, R. Zbořil // *Water Research*. – 2019. – V. 154. – P. 361–369.
14. Khushboo Chaudhary, Pankaj Kumar Saraswat, Suphiya Khan. Improvement in fluoride remediation technology using GIS based mapping of fluoride contaminated groundwater and microbe assisted phytoremediation // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2019. – V. 168. – P. 164–176.
15. Лехов А.В., Шваров Ю.В. Рост минерализации эксплуатируемых подземных вод при наличии пирита в покровных отложениях // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геохронология*. – 2002. – № 4. – С. 316–325.
16. Modeling in situ iron removal from ground water / C.A.J. Appelo, B. Drijver, R. Hekkenberg, M. de Jonge // *Ground water*. – 1999. – V. 37. – № 6. – P. 811–817.
17. Sung W., Morgan J.J. Kinetics and product of ferrous iron oxygenation in aqueous systems // *American Chem. Soc.* – 1980. – V. 14. – P. 561–568.
18. Sudipta Ghosh (Nath), Anupam Debsarkar, Amit Dutta. Technology alternatives for decontamination of arsenic-rich groundwater – a critical review // *Environmental Technology & Innovation*. – 2019. – V. 13. – P. 277–303.

19. Millero F.J., Sotolongo S., Izaguirre M. The oxidation kinetics of Fe(II) in seawater // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* – 1986. – V. 51. – P. 793–801.
20. Manganese release linked to carbonate dissolution during the start-up phase of a subsurface iron removal well in Khabarovsk, Russia / S. Paufler, T. Grischek, J. Feller, J. Herlitzius, V.V. Kulakov // *The science of the total environment.* – 2019. – V. 650. – P. 1722–1733.

*Поступила 20.04.2022 г.*

#### **Информация об авторах**

**Кузеванов К.К.**, ассистент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Дутова Е.М.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Кузеванов К.И.**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 556.314

## CHANGES IN HYDROGEOCHEMICAL CONDITIONS OF ACADEMICHESKOE UNDERGROUND WATER FIELD DURING EXPLOITATION (TOMSK REGION, TOMSK)

Konstantin K. Kuzevanov<sup>1</sup>,  
kuzevanovkk@tpu.ru

Ekaterina M. Dutova<sup>1</sup>,  
dutova@tpu.ru

Konstantin I. Kuzevanov<sup>1</sup>,  
kki@tpu.ru

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

**The research** is relevant due to the need to study the direction and dynamics of the variability of the chemical composition of groundwater used for drinking water supply in a large residential area of Tomsk as a result of the long-term operation of the deposit. Confirmation of previously identified laws and mechanisms leading to changes in hydrogeochemical conditions will make it possible to develop recommendations on optimizing the mode of operation of the water intake, its technical equipment, and improving the water treatment system.

**The main aim** of the work is to evaluate the trends in temporal changes in the concentrations of total iron, sulfate ion, the value of total hardness and pH in natural waters as a result of a long period of operation of the water intake; based on the revealed regularities, propose possible mechanisms for the variability of the hydrogeochemical conditions of a groundwater deposit.

**Methods:** generalization and statistical analysis of the chemical composition of groundwater obtained as a result of long-term regime observations.

**Results.** Analysis of source materials based on the results of a study by water intake services of the concentrations of components and indicators of the chemical composition of groundwater (total iron, sulfate ion, pH, total hardness) of the operated field, presented in the form of long-term observation series, clearly shows that the values of the estimated parameters over the studied period of operation water intake changed significantly and unevenly. Such fluctuations in the dynamics of water composition indicators are explained by the redistribution of the load over the volume of water taken, uneven in time and in production wells of water intake. Nevertheless, the general trends of the main directions of variability, such as a decrease in the content of total iron, an increase in the concentration of sulfate ion, an increase in total hardness, and a decrease in the pH value, established by previous studies, remain the same.

### Key words:

Underground water field, groundwater chemistry, groundwater monitoring, hydrogeochemical regime change, water supply, Academicheskoe field.

### REFERENCES

- Dutova E.M., Pokrovskiy D.S., Parnachev V.P., Pokrovskiy V.D. Geokhimicheskie osobennosti podzemnykh vod khozyaystvenno-pityevogo naznacheniya respubliki Khakasiya [Geochemical features of underground waters of economic and drinking purpose of the Republic of Khakassia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 394, pp. 239–249.
- Mi Lin, Asim Biswas, Bennett E.M. Identifying hotspots and representative monitoring area of groundwater changes with time stability analysis. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 667, pp. 419–426.
- Muhammad Tousif Bhatti, Arif A. Anwar, Muhammad Aslam. Groundwater monitoring and management: status and options in Pakistan. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017, vol. 135, pp. 143–153.
- McLean M.I., Evers L., Bowman A.W., Bonte M., Jones W.R. Statistical modelling of groundwater contamination monitoring data: a comparison of spatial and spatiotemporal methods. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 652, pp. 1339–1346.
- Tamer Ayvaz M., Alper Elçi. Identification of the optimum groundwater quality monitoring network using a genetic algorithm based optimization approach. *Journal of Hydrology*, 2018, vol. 563, pp. 1078–1091.
- Jamin P., Brouyère S. Monitoring transient groundwater fluxes using the Finite Volume Point Dilution Method. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2018, vol. 218, pp. 10–18.
- Balobanenko A.A., L'gotin V.A., Dutova E.M., Pokrovskiy D.S., Nikitenkov A.N. and Raduk I.V. Geochemical groundwater peculiarities of Paleogene sediments in SE Western Siberia artesian basin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 43. DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012030
- Poi G., Shahsavari E., Aburto-Medina A., Mok P.Ch., Ball A.S. Large scale treatment of total petroleum-hydrocarbon contaminated groundwater using bioaugmentation. *Journal of Environmental Management*, 2018, vol. 214, pp. 157–163.
- Vologdina I.V., Dutova E.M., Pokrovskiy D.S., Pokrovskiy V.D., Radyuk I.V. Naturally technogenic mineral new growths on water intakes of the Tomsk region. *Bulletin of the St. Petersburg university. Series 7. Geology. Geography*, 2015, no. 3, pp. 58–72. In Rus.
- Dutova E.M. Geochemistry of fresh groundwater in the Altai–Sayan folded area and adjacent areas of the West Siberian plate. *Applied Geochemistry*, 2020, vol. 120, pp. 189–197.
- Kazak E., Pozdniakov S., Muromec N. Field study and iron reactive simulation in riverbank water supply well fields. *IAHS-AISH Publication Cep. «GQ10: Groundwater Quality Management in a Rapidly Changing World»*, 2011, pp. 419–422.
- Sharma S.K., Petrusevski B., Schippers J.C. Biological iron removal from groundwater. *AQUA*, 2005, vol. 54, no. 4, pp. 239–247.
- Cernik M., Nosek J., Filip J., Hrabal J., Elliott D.W., Zbořil R. Electric-field enhanced reactivity and migration of iron nanoparticles with implications for groundwater treatment technologies: Proof of concept. *Water Research*, 2019, vol. 154, pp. 361–369.
- Khushboo Chaudhary, Pankaj Kumar Saraswat, Suphiya Khan. Improvement in fluoride remediation technology using GIS based mapping of fluoride contaminated groundwater and microbe assisted phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, vol. 168, pp. 164–176.
- Lekhov A.V., Shvarov Yu.V. Rost mineralizatsii ekspluatiruemyykh podzemnykh vod pri nalichii pirita v pokrovnykh otlozheniyakh [Height of a mineralization of the operated underground waters in the presence of pyrite in integumentary deposits]. *Ge-*

- oekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, 2002, no. 4, pp. 316–325.
16. Appelo C.A.J., Drijver B., Hekkenberg R., De Jonge M. Modeling in situ iron removal from ground water. *Ground water*, 1999, vol. 37, no. 6, pp. 811–817.
  17. Sung W., Morgan J.J. Kinetics and product of ferrous iron oxygenation in aqueous systems. *American Chem. Soc.*, 1980, vol. 14, pp. 561–568.
  18. Sudipta Ghosh (Nath), Anupam Debsarkar, Amit Dutta. Technology alternatives for decontamination of arsenic-rich groundwater – a critical review. *Environmental Technology & Innovation*, 2019, vol. 13, pp. 277–303.
  19. Millero F.J., Sotolongo S., Izaguirre M. The oxidation kinetics of Fe(II) in seawater. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1986, vol. 51, pp. 793–801.
  20. Pauffer S., Grischek T., Feller J., Herlitzius J., Kulakov V.V. Manganese release linked to carbonate dissolution during the start-up phase of a subsurface iron removal well in Khabarovsk, Russia. *The science of the total environment*, 2019, vol. 650, pp. 1722–1733.

Received 20 April 2022.

#### Information about the authors

**Konstantin K. Kuzevanov**, assistant, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Ekaterina M. Dutova**, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Konstantin I. Kuzevanov**, Cand Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.