

УДК 540.42:57.4(571.1)

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ И БОЛОТНЫХ ВОД ТАЁЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ЕСТЕСТВЕННОМ И НАРУШЕННОМ СОСТОЯНИЯХ

О.Г. Савичев, О.А. Камнева

Томский политехнический университет

E-mail: osavichav@mail.ru, k_ok_al@mail.ru

Савичев Олег Геннадьевич,
1967 г.р., д.г.н., профессор
кафедры гидрогеологии,
инженерной геологии и
гидрогеоэкологии ИГНД ТПУ.
Р.т. 42-61-67.

E-mail: OSavichev@mail.ru

Область научных интересов:
гидрология, гидрогеохимия,
геоэкология.

Камнева Оксана
Александровна, аспирант
кафедры гидрогеологии,
инженерной геологии и
гидрогеоэкологии Томского
политехнического университета,
г. Томск, пр. Ленина, 2,
строение 5. Р.т. (3822) 416256.

E-mail: k_ok_al@mail.ru

Область научных интересов:
гидрогеология, гидрогеохимия,
геоэкология.

Проведено обобщение данных по химическому составу подземных и болотных вод таёжной зоны Западной Сибири за период с 1960-х гг. по 2009 г. Показано, что наиболее важные, с точки зрения формирования химического состава вод заболоченных территорий, гидрогеохимические процессы протекают на окраинах болотных массивов. Установлено, что рекультивация болот приводит не к восстановлению исходного состояния водно-болотной системы, а к формированию новой. Выявлен зональный характер в изменении минерализации подземных вод, свидетельствующий о значительной роли гидроклиматических факторов в формировании их химического состава. И болотные, и подземные воды в целом находятся в естественном состоянии и по природным причинам содержат в высоких концентрациях органические и биогенные вещества, содержание которых в подземных водах возрастает по мере усиления связи с болотными.

Ключевые слова:

подземные воды, болотные воды, химический состав, таежная зона, Западная Сибирь.

Key words:

underground water, swamp water, chemistry, taiga zone, Western Siberia.

Территория таёжной зоны Западной Сибири характеризуется высокой заболоченностью (более 30 % общей площади), являющейся мощным фактором формирования химического состава поверхностных и подземных вод данного региона [1]. Этот фактор во многом определяет специфику водно-экологической обстановки в регионе. В частности, с заболоченностью водосборов связывается повышенное содержание в природных водах целого ряда веществ, многократно превышающее допустимые нормативы качества, что обуславливает актуальность гидрогеохимических исследований механизмов взаимодействия болотных и подземных вод с учетом влияния хозяйственной деятельности на водно-болотные системы.

В данной работе изложены результаты одного из этапов подобных исследований, в рамках которого авторами было проведено обобщение материалов, полученных в разное время в ОАО «Томскгеомониторинг», Томском политехническом университете (ТПУ) и ряде других научных и производственных организаций. Целью работы является выявление тенденций распределения минерализации, величины рН, окисляемости и содержания азота аммонийного в подземных и болотных водах таёжной зоны Западной Сибири.

Методика исследований

Методика исследований включала в себя отбор проб болотных и подземных вод, обобщение полученных результатов и опубликованных данных. Схема расположения постов гидрохимических наблюдений представлена на рис. 1. Данные о составе подземных вод в значительной степени получены в результате обобщения материалов многолетних наблюдений (период с 1960-х гг. по 2009 г.) ОАО «Томскгеомониторинг», данные о болотных водах – по материалам исследований Томского политехнического университета (ТПУ) и ОАО «Томскгеомониторинг». Лабораторные работы по определению состава болотных вод выполнялись по аттестованным методикам в аккредитованных лабораториях ОАО «Томскгеомониторинг» и ТПУ.

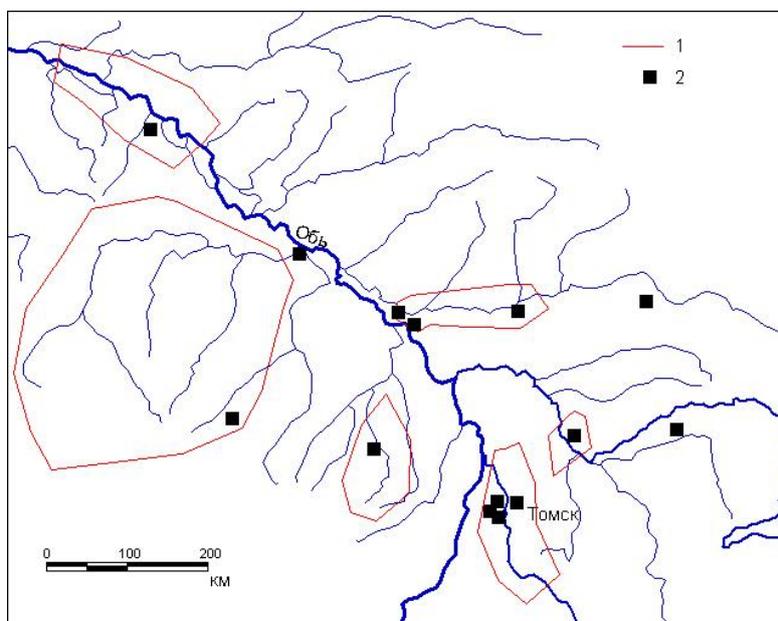


Рис. 1. Схема расположения района исследований: 1 – границы участков гидрогеохимических наблюдений болотных вод; 2 – скважины гидрогеохимических наблюдений подземных вод

Описание используемых методов отбора проб и определения содержаний различных веществ, а также характеристика природных условий приведены в [2]. Полевые работы выполнены совместно с В.А. Базановым и А.А. Скугаревым; обобщение и анализ результатов исследований проводились при участии и поддержке Ю.В. Макушина, С.Л. Шварцева и В.А. Базанова.

Анализ полученных данных по химическому составу вод проведен с использованием методов математической статистики, включая расчет средних показателей за многолетний период и их погрешности определения. Среднее значение определяется в зависимости от числа лет наблюдений и рассчитывается как среднее арифметическое. Погрешность определения – через среднюю квадратическую погрешность или стандартное отклонение.

Общая характеристика подземных и болотных вод

Таёжная зона Западной Сибири характеризуется широким распространением олиготрофных выпуклых и мезотрофных болот. Высока доля и евтрофных болот. Так, на территории Томской области, занимающей значительную часть рассматриваемого региона, общая заболоченность составляет 37 % (от 316,9 тыс. км²), доля общей территории, занятой олиготрофными болотами – 17 %, мезотрофных – 15,6 %, евтрофных – 4,4 %. Средняя мощность торфяной залежи превышает 2 м. Суммарные запасы воды в болотах только в Томской области составляют около 220 км³ [2].

Болотные воды региона в естественном состоянии характеризуются как слабокислые (олиготрофные и мезотрофные, реже евтрофные) или нейтральные (евтрофные), пресные с малой и средней минерализацией (до 200 и 200..500 мг/л соответственно). Минерализация вод олиготрофных и мезотрофных болот обычно заметно меньше, чем евтрофных (табл. 1). Болотные воды региона характеризуются высоким содержанием органических веществ, азота аммонийного и ряда других веществ (не рассматриваются в работе). В связи с этим нарушение установленных в России нормативов качества наблюдается для болотных вод повсеместно и постоянно (рис. 2), что делает невозможным их использование в хозяйственно-питьевых целях.



Рис. 2. Средний химический состав болотных вод таежной зоны Западной Сибири в естественном, загрязненном и рекультивированном состояниях в сравнении с нормативами качества вод хозяйственно-питьевого водоснабжения

Таблица 1. Химический состав болотных вод

Тип болота	Состояние	Показатель*	pH	Σи, мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	XПК, мгO ₂ /л	Количество проб
		ПДК _{хоз-пит}	6–9	1000	2,0	–	
Олиготрофный	Естественное	A	4,38	196,8	1,159	322,13	28
		δA	0,26	85,3	0,257	52,53	
Мезотрофный	Естественное	A	5,05	506,2	0,939	307,88	9
		δA	0,37	343,1	0,341	151,55	
Евтрофный	Естественное	A	5,81	114,2	1,653	228,51	45
		δA	0,24	39,5	0,301	50,59	
Все типы	Естественное	A	5,16	230,1	1,326	277,29	82
		δA	0,18	83,2	0,177	42,72	
Олиготрофный	Загрязненное	A	6,33	–	0,865	500,97	10
		δA	0,33	–	0,190	432,99	
Мезотрофный	Загрязненное	A	5,73	83,0	1,775	141,85	8
		δA	0,37	22,7	0,491	27,90	
Евтрофный	Загрязненное	A	7,25	1134,2	15,68	494,43	8
		δA	0,13	182,1	9,369	165,25	
Олиготрофный	Осушенное	A	5,70	270,1	2,209	214,20	3
		δA	1,40	219,8	1,291	37,40	
Олиготрофный	Гарь на осушенном болоте	A	5,27	284,9	1,553	338,60	3
		δA	0,81	229,3	0,490	62,01	
Олиготрофный	Рекультивированный участок	A	5,73	476,4	0,867	99,45	3
		δA	1,98	415,3	0,051	36,25	

Примечание – A – средний арифметический показатель; δA – погрешность определения.

Учитывая, что в пределах заболоченных участков рассматриваемой территории достаточно интенсивно добывается нефть и газ, целесообразно рассмотреть, какие изменения в состоянии болотных вод произошли в результате хозяйственной деятельности. С этой целью был выполнен анализ данных государственного и локального мониторинга, который показал, что при осушении или рекультивации загрязненных участков олиготрофных болот происходит трансформация химического состава болотных вод по типу, характерному не для олиготрофных, а для евтрофных болот (табл. 1). Кроме того, было установлено, что при сбросе сточных вод в болота или аварийных разливах нефти и минерализованных вод, используемых для поддержания пластового давления, изменения в химическом составе болотных вод обычно наблюдаются в пределах 100..300 м от источника загрязнения (табл. 2). Наиболее существенные отклонения содержаний от обычных для конкретного типа болот значений часто прослеживаются на локальных участках до нескольких десятков метров [3].

Таблица 2. Средний химический состав болотных вод в районе с. Мельниково

Показатель	Данные за 1967 г. [5]	В 25–300 м от выпуска стоков ЖКХ с. Мельниково [3]
pH	7,2	7,6
$\Sigma_{и}$, мг/л	515,0	1061,2
NH_4^+ , мг/л	0,3	25,91
ХПК, мг O_2 /л	–	420,14
Количество проб	8	2–5

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что влияние антропогенных факторов на гидрохимические показатели болотных вод на большей части таёжной зоны Западной Сибири в значительной степени зависит от интенсивности водообмена в болотных биогеоценозах – чем она больше, тем больше зона загрязнения [2, 4].

В пределах таежной зоны Западной Сибири основной гидрогеологической структурой первого порядка является Западно-Сибирский артезианский бассейн, являющийся одним из наиболее крупных аккумуляторов подземных вод нашей планеты. В разрезе мезозойско-кайнозойских отложений бассейна выделяются два гидрогеологических этажа с резко различными условиями формирования подземных вод. Этажи разделены мощным региональным водоупором верхнемелового-палеогенового возраста [6, 7]. В рамках работы рассматривалась только верхняя часть разреза в пределах развития водовмещающих отложений неоген-четвертичного и палеогенового возраста. Отложения представлены песками, глинами, алевритами, песчано-гравийно-галечниковыми отложениями; в гидродинамическом отношении являются единой водонасыщенной системой с тесной гидравлической взаимосвязью.

Водоносный комплекс неоген-четвертичных отложений является первым от поверхности, его подземные воды тесно взаимосвязаны и циркулируют в зоне свободного водообмена, что делает их легкодоступными для процессов загрязнения. Естественные условия формирования грунтовых вод определяются в основном гидроклиматическими факторами. Для данных водоносных отложений наблюдается хорошо выраженное увеличение минерализации незагрязненных подземных вод с северо-востока на юго-запад (табл. 3). В нарушенном состоянии наблюдаются несколько повышенные минерализации подземных вод, но в целом зональность сохраняется.

По классификации О.А. Алекина грунтовые воды обычно пресные со средней и, реже, повышенной минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые или гидрокарбонатные кальциево-магниево-нейтральные [6, 7, 8].

Грунтовые воды непосредственно связаны с болотными, что определяет высокий уровень содержания органических веществ по окисляемости, отмеченный как для естественного, так и нарушенного состояния подземных вод. Повышенное содержание органических веществ приводит к формированию высоких концентраций азота аммонийного, образующегося при их частичном разложении в водной среде [9].

Средний уровень перманганатной окисляемости в таёжной части бассейна Средней Оби составляет 5,09 мгС/л (табл. 3).

Таблица 3. Химический состав подземных вод неоген-четвертичных и палеогеновых отложений

Населенный пункт	Горизонт	Состояние	Показатель	pH	$\square_{и}$, мг/л	NH_4^+ , мг/л	ПО, мгС/л	Количество проб
ПДК _{хоз-пит}				6–9	1000	2,0	5,0	
Воды неоген-четвертичных отложений								
Александровское	Q_{III}	естественное	A	7,18	358,75	2,21	4,65	57
			σ	0,13	11,93	0,28	0,21	
Бакчар	$Q_{II tb}$	естественное	A	7,19	340,86	0,90	3,27	63
			σ	0,13	26,50	0,21	0,22	
Белый Яр	$Q_{III}+Q_{II tb}$	естественное	A	6,85	181,67	1,03	5,54	72
			σ	0,12	4,87	0,12	0,33	
Усть-Озерное	$Q_{II tb}$	естественное	A	6,88	92,73	0,56	3,04	56
			σ	0,11	6,54	0,08	0,21	
Каргасок	$Q_{III}+P_3$	естественное	A	7,09	276,09	1,46	4,05	64
			σ	0,12	18,64	0,31	0,33	

Продолжение таблицы на следующей странице

Колпашево	Q _{IV}	естественное	A	7,18	307,77	1,12	3,31	76
			σ	0,10	13,96	0,16	0,30	
Тегульдет	Q _{IV}	естественное	A	7,36	425,24	2,68	8,96	64
			σ	0,13	7,79	0,28	0,69	
Тегульдет	Q _{III}	естественное	A	7,27	500,28	2,83	9,36	60
			σ	0,10	13,50	0,32	0,70	
Вне нас. пункта (у Кафтанчиково)	Q _{III}	естественное	A	6,86	562,35	1,52	3,61	67
			σ	0,33	25,22	0,66	0,56	
Беляй	Q _{III}	нарушенное	A	7,22	678,01	0,50	0,10	10
			σ	0,06	243	0,40	0,05	
Воды палеогеновых отложений								
Александровское	P _{3nm}	естественное	A	7,40	258,94	4,28	4,02	57
			σ	0,15	21,37	0,66	0,57	
Белый Яр	P _{3lg}	естественное	A	7,10	193,04	1,51	6,20	73
			σ	0,11	10,55	0,20	0,33	
Каргасок	P _{3nm}	естественное	A	7,10	347,60	2,14	5,26	75
			σ	0,10	26,07	0,34	0,36	
Каргасок	P _{2jr}	естественное	A	7,11	504,76	3,55	5,73	62
			σ	0,13	19,53	0,74	0,43	
Каргасок	P _{3at}	естественное	A	7,19	457,85	4,09	6,22	60
			σ	0,13	25,54	0,66	0,59	
Пудино	P _{3nm}	естественное	A	7,42	305,98	1,60	5,16	60
			σ	0,12	25,11	0,28	0,50	
Малиновка	P _{3nm}	естественное	A	7,06	455,33	0,59	2,67	78
			σ	0,10	21,95	0,14	0,22	
Томск	P _{2jr}	нарушенное	A	6,69	543,88	0,34	1,83	38
			σ	0,05	28,73	0,05	0,13	
Колпашево	P _{3nm} +P _{2jr}	нарушенное	A	7,12	334,74	1,58	5,52	10
			σ	0,25	26,70	0,21	0,00	
Тогур	P _{2jr}	нарушенное	A	7,52	317,69	1,40	3,62	10
			σ	0,13	28,05	0,22	0,52	
Моряковский Затон	P _{2jr}	нарушенное	A	6,93	659,31	0,61	1,41	10
			σ	0,53	53,65	0,51	0,51	

Естественные условия формирования напорных вод *палеогеновых отложений* определяются в основном степенью изолированности их от поверхности земли, обусловленной глубиной залегания и наличием водоупоров в перекрывающей толще.

Как и в случае грунтовых вод, для незагрязненных подземных вод неогеновых и палеогеновых отложений характерно увеличение минерализации с северо-востока на юго-запад, а также в вертикальном разрезе по мере увеличения возраста водоносных отложений [8]. В нарушенном состоянии эти закономерности также сохраняются.

Подземные воды данных отложений в естественных условиях обычно пресные со средней и повышенной минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые или гидрокарбонатные кальциево-магниевого, нейтральные, а в районах размещения населённых пунктов и крупных предприятий – пресные с повышенной минерализацией и солоноватые с разнообразным катионным и анионным составом.

Для рассматриваемых отложений характерна меньшая взаимосвязь с болотными водами, что определяет и меньшие значения окисляемости и иона аммония (по сравнению с грунтовыми водами). Ввиду тесной взаимосвязи и свободного водообмена внутри всего водоносного комплекса, уровень содержания органических веществ остается достаточно высоким и составляет в среднем 4,89 мг/л (табл. 3).

Качество подземных вод, также как и болотных, не соответствует установленным в РФ нормативам (рис. 3). Нарушение качества отмечается по содержанию ионов аммония и по перманганатной окисляемости. Без специальной водоподготовки использование подземных вод таежной зоны для хозяйственно-питьевых целей невозможно.

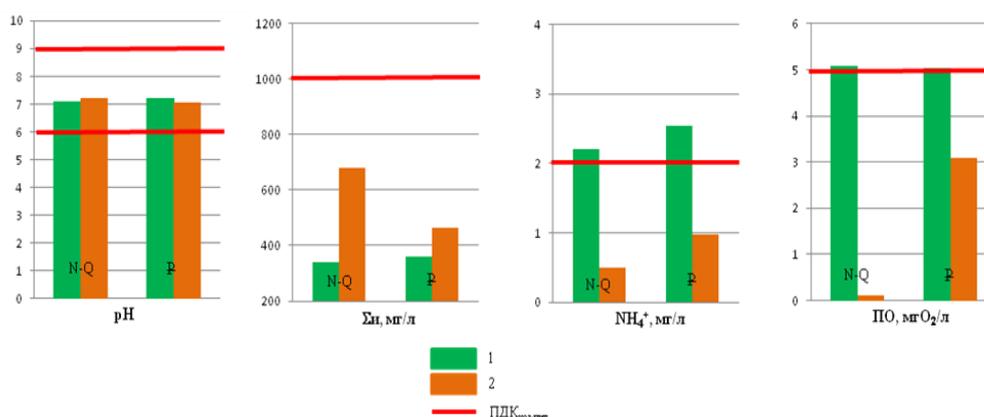


Рис. 3. Средний химический состав подземных вод неоген-четвертичных (N-Q) и палеогеновых отложений (P) таежной зоны Западной Сибири в естественном (1) и нарушенном (2) состоянии в сравнении с нормативами качества вод хозяйственно-питьевого водоснабжения

Таким образом, подземные воды зоны свободного водообмена региона имеют выраженный зональный характер изменения минерализации и в естественном, и в нарушенном состояниях. Для данных вод характерны высокие содержания органических веществ (как следствие, азота аммонийного), что объясняется преимущественно природными факторами, в частности, заболоченностью областей питания и тесной связью с болотными водами.

Обобщение данных о химическом составе болотных и подземных вод в таежной зоне Западной Сибири показало, что в естественных условиях суммарное содержание растворённых солей на территориях распространения олиготрофных болот убывает в ряду «подземные воды – речные воды – болотные воды», а на территориях распространения евтрофных болот – «подземные воды – болотные воды – речные воды» (рис. 4, табл. 4).

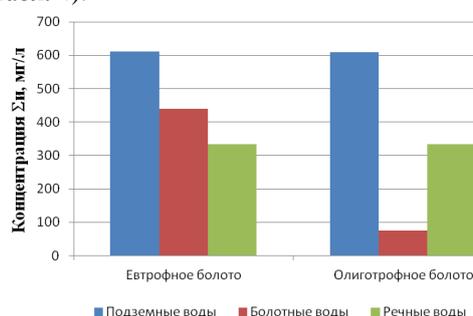


Рис. 4. Соотношение суммарного содержания растворённых солей в подземных, болотных и речных водах на территориях распространения евтрофных и олиготрофных болот

При этом следует отметить, что на границе болотных и лесных ландшафтов происходит интенсивное насыщение поверхностных вод различными неорганическими и органическими веществами, что объясняется (в случае олиготрофных болот), во-первых, контактом кислых болотных вод, содержащих большое количество фульвокислот, с минеральным грунтом и последующим образованием водорастворимых и коллоидных комплексов. Во-вторых, на окраинах болот (и олиготрофных, и евтрофных) скапливаются значительные количества воды и формируются направленные потоки, с которыми и выносятся образовавшиеся соединения. В-третьих, при движении потоков воды происходит размыв почвогрунтов и формирование стока взвешенных и влекомых наносов, сопровождающееся увеличением площади контакта воды и частиц породы, сорбцией на поверхности последних некоторых растворенных и коллоидных веществ и т.д. [2].

Таблица 4. Средний химический состав природных вод Васюганского болота и прилегающих территорий

Показатель	Подземные воды палеогеновых отложений с. Чажемто	Участки Васюганского болота			р. Бакчар п. Горе-ловка	р. Чая с. Подгорное
		евтрофный	мезотрофный	олиготрофный		
pH	6,93	6,00	5,34	4,70	7,20	7,33
Σи, мг/л	610,5	439,2	139,9	75,7	333,8	411,0
NH ₄ ⁺ , мг/л	1,79	2,02	1,10	1,51	2,28	0,86
ХПК, мгО ₂ /л	–	182,6	160,2	296,6	50,6	43,4
Количество проб	3	3	7	11	34	22

Выводы

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, наиболее важные, с точки зрения формирования химического состава вод заболоченных территорий, гидрогеохимические процессы протекают на окраинах болотных массивов. Во-вторых, осушение и рекультивация загрязненных участков верховых болот приводят к трансформации химического состава их вод по типу, характерному для низинных болот. В-третьих, в изученных природных водах практически повсеместно, независимо от степени и характера антропогенного воздействия, в повышенных концентрациях присутствуют органические вещества (по величине окисляемости) и ион аммония NH₄⁺. В-четвертых, значительное химическое загрязнение болотных вод в регионе пока ограничено локальными участками.

В пределах таёжной зоны Западной Сибири сосредоточены значительные ресурсы пресных подземных вод. Рассмотренные подземные воды неоген-четвертичных и палеогеновых отложений имеют хорошо выраженный зональный характер в изменении минерализации, наблюдаемый как в естественном, так и в нарушенном состояниях. Такая зональность свидетельствует о значительной роли в формировании химического состава подземных вод гидроклиматических условий.

Для подземных вод таежной зоны характерны высокие содержания органических веществ и азота аммонийного, наблюдаемые и для грунтовых вод неоген-четвертичных отложений, и для напорных вод палеогеновых отложений. Такие концентрации обусловлены преимущественно природными условиями формирования подземных вод, в частности, заболоченностью территории и областей питания и тесной связью с болотными водами.

В большинстве случаев рассматриваемые подземные воды не соответствуют установленным нормативам качества по величине перманганатной окисляемости и по содержанию азота аммонийного. С учётом этого на большей части региона использование подземных вод без специальной водоподготовки невозможно. В целом же, подземные воды в сравнении с поверхностными в таежной зоне отличаются более высоким качеством. Приоритетное использование пресных подземных вод – хозяйственно-питьевое водоснабжение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болота Западной Сибири. Их строение и гидрологический режим. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 447 с.
2. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2010. – 248 с.
3. Лыготин В.А., Савичев О.Г. Оценка допустимых сбросов загрязняющих веществ в болота Томской области // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. - №5. – С. 33-38.
4. Савичев О.Г. Химический состав болотных вод на территории Томской области (Западная Сибирь) и их взаимодействие с минеральными и органоминеральными соединениями // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 1. – С. 72–77.
5. Рассказов Н.М., Удодов П.А., Назаров А.Д., Емельянова Т.Я. Болотные воды Томской области // Известия Томского политехнического института, 1975, Т.297, С.102-117.
6. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / под ред. Е.В. Пиннекера, И.П. Васильева, Н.А. Ермашовой и др. – М.: Недра, 1991. – 262 с.
7. Состояние геологической среды (недр) территории Сибирского федерального округа в 2008 г.: Информационный бюллетень / под ред. В.А. Лыгодина. – Вып. 5. – Томск: ОАО “Томскгеомониторинг”, 2009 г. – 166 с.
8. Ермашова Н.А. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена Томской области в связи с решением вопросов водоснабжения и охраны. Автореф. на соиск. учен. степ. к.г.-м.н. – Томск: Томск. политехн. ун-т, 1998. – 44 с.
9. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. – 2-е изд. – М.: Недра, 1998. – 366 с.