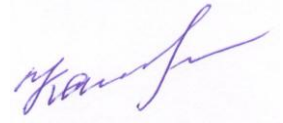


На правах рукописи



Камнева Оксана Александровна

**МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ СРЕДНЕОБСКОГО БАСЕЙНА**

Специальность: 25.00.07. Гидрогеология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Томск – 2012

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национального исследовательского Томского политехнического университета»

Научный руководитель: доктор географических наук, доцент,
Савичев Олег Геннадьевич

Официальные оппоненты: Кусковский Виктор Семенович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, главный научный сотрудник

Паромов Владимир Валериянович, кандидат географических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский государственный университет, доцент

Ведущая организация: Тюменский государственный нефтегазовый университет

Защита состоится 30 мая 2012 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.269.03 при Национальном исследовательском Томском политехническом университете по адресу: 656028, г. Томск, пр. Ленина, 2, строение 5, 20-й кор. ТПУ, ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-технической библиотеке Национального исследовательского Томского политехнического университета (634034, г. Томск, ул. Белинского, 55).

Автореферат разослан « 28 » апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ДМ 212.269.03
кандидат геолого-минералогических наук



О.Е. Лепокурова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Оценка состояния геологической среды, особенно одного из важнейших ее компонентов – подземных вод, и выявление причин его изменения представляет собой одну из важнейших проблем наук о Земле. Решению этой проблемы, в случае изучения подземных вод, посвящено большое количество работ, включая крупные обобщения, выполненные в последние годы И.С. Зекцером, В.С. Ковалевским, С.Л. Шварцевым, Р.Г. Джамаловым, В.П. Зверевым, В.С. Кусковским и другими. Тем не менее, многие вопросы изучения характера и причин многолетней изменчивости подземных вод и их химического состава, особенно в азиатской части России, остаются недостаточно раскрытыми. Дефицит достоверной информации о современном гидрогеологическом состоянии и его природно-антропогенных изменениях в последние десятилетия негативно сказывается на всем процессе управления водными ресурсами региона, а, следовательно, и его социально-экономическом развитии, что определило цель, объект и методы исследований в рамках данной работы.

В настоящее время отсутствует общая картина изменений гидрогеологических условий Западной Сибири, особенно в ее центральной части – Среднеобском бассейне, где на фоне прогрессирующего заболачивания происходит активное хозяйственное освоение. Ранее на данной территории О.Г. Савичевым, В.А. Льготиним и Ю.В. Макушиным выявлены тенденции заметного увеличения уровней и температуры вод зоны активного водообмена вне участков антропогенного воздействия. Кроме того, для средних и крупных рек арктического бассейна, в том числе бассейна Средней Оби, И.А. Шикломановым, О.Г. Савичевым, В.А. Земцовым и другими установлено статистически значимое увеличение меженного стока. Очевидно, что такие изменения повлияли на гидрогеологическое состояние Среднеобского бассейна, что и определило цель данного исследования.

Цель работы состоит в выявлении многолетних изменений гидрогеологических условий зоны активного водообмена Среднеобского бассейна вне участков явной антропогенной нагрузки, а также механизма подобных изменений.

Задачи исследований:

1. Анализ факторов формирования гидрогеологических условий в пределах Среднеобского бассейна. Анализ их многолетних изменений.
2. Оценка стока подземных вод зоны активного водообмена. Анализ многолетней изменчивости подземного стока.
3. Оценка современного гидрогеохимического состояния Среднеобского бассейна. Анализ многолетней изменчивости химического состава подземных вод.

4. Определение причин выявленных изменений гидрогеологических условий на основе анализа связи между изменениями стока подземных вод, их химического состава, факторов формирования и термодинамического анализа состояния системы «вода–порода».

Объект и методы исследований. Объектом исследований являются подземные воды зоны активного водообмена Среднеобского бассейна (по гидрогеологическому районированию СССР в *Гидрогеология СССР, 1977, Атлас гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР, 1983*) на территории от устья р. Тым до устья р. Иртыш. Выбор объекта обусловлен специфичностью и однородностью местных гидроклиматических условий (расположение в гумидной зоне в полосе избыточного увлажнения, широкое распространение сезонномерзлых пород, сильная заболоченность), а также антропогенной нагрузкой, единой для всей территории и связанной с развитием нефтегазового комплекса. Предметом исследований является сток и химический состав подземных вод, преимущественно вод неоген-четвертичных и палеогеновых отложений в пределах ненарушенных хозяйственной деятельностью участков.

Обобщение информации проведено с использованием гидролого-гидрогеологического, гидродинамического и ландшафтно-геохимического методов. Анализ многолетних изменений и причин их обусловивших – методами математической статистики и химической термодинамики.

Исходные материалы. Используются данные режимных гидрогеохимических наблюдений Томской геологоразведочной экспедиции с середины 1960-х по 1996 г. и ОАО «Томскгеомониторинг» с 1997 по 2006 г., а также материалы гидрогеохимических исследований, выполненных в Томском политехническом университете. Исходной гидроклиматической информацией послужили материалы Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с 1930-х до 2009 г. (<http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html>; http://www.meteo.ru/climate/sp_clim.php). Помимо фондовых данных было использовано большое количество опубликованных материалов.

Личный вклад. Лично автором проведено обобщение гидрогеохимической (количество наблюдений – более 66 тыс. проб по 21 скважине) и гидроклиматической (более 50 тыс. по 36 пунктам) информации. Проведен статистический анализ и интерпретация полученных результатов, на основе чего автором разработаны и сформулированы защищаемые положения. Ряд результатов, имеющих в данной работе вспомогательный характер и касающихся получения гидрогеохимической информации и изучения гидродинамического режима, получен совместно с д.г.н. О.Г. Савичевым, к.г.-м.н. В.А. Льготиним и к.г.-м.н. Ю.В. Макушиным.

Защищаемые положения:

1. В конце 1960-х – начале 1970 гг. в Среднеобском бассейне произошло увеличение подземного стока, доли подземного притока в реки и уровней подземных вод зоны активного водообмена вне участков явного антропогенного влияния. Увеличение средней величины подземного стока составило 10 %; доли подземного притока – 18 %.

2. В середине 1970-х гг. произошло значимое изменение гидрогеохимических условий зоны активного водообмена Среднеобского бассейна вне участков явного антропогенного влияния. Важнейшим проявлением таких изменений является увеличение средней минерализации (41 мг/л / 15 %), рН (0,5 / 7 %), содержаний гидрокарбонатного иона (27 мг/л / 15 %), иона кальция (5 мг/л / 15 %), железа (1,3 мг/л / 12 %) и иона аммония (0,5 мг/л / 18 %). Уровень содержаний органического вещества в целом остается постоянно высоким (5,5 мгО₂/л).

3. Основной причиной изменений гидрогеохимических условий зоны активного водообмена Среднеобского бассейна вне участков явного антропогенного влияния является увеличение подземного стока и рост уровней подземных вод, увеличение продолжительности и сдвиг временных границ переходных сезонов, а также рост температур воздуха, почв и непосредственно самих подземных вод.

Научная новизна. Впервые выявлены многолетние изменения гидрогеологических условий Среднеобского бассейна стока, заключающиеся в изменении подземного стока и уровней подземных вод зоны активного водообмена, их притока в реки, а также в изменении химического состава подземных вод. Предложен механизм объяснения изменений гидрогеологических условий.

Практическое значение работы. Материалы исследований использованы и будут использоваться в дальнейшем при ведении государственного мониторинга состояния геологической среды на территории Томской области. Кроме того, результаты учитывались при решении вопросов, связанных с оценкой существующего и допустимого антропогенного воздействия на водные объекты, прогнозом изменений состояния водных объектов в процессе выполнения научно-исследовательских работ по гранту РФФИ 11-05-98000-р, в рамках работы Сибирской научной гидрогеохимической школы и в процессе ведения учебных занятий в ТПУ.

Апробация работы и публикации. Результаты исследований докладывались и обсуждались на пяти международных и всероссийских научных конференциях, в т.ч. на Международном симпозиуме им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых в 2008–2010 гг. (г. Томск); Международной конференции «Реки Сибири» в 2010 г. (г. Томск);

Всероссийской научной конференции «Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии» в 2010 г. (г. Томск). По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 5 в изданиях, рекомендованных ВАК России.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения общим объемом в 204 страницы машинописного текста. Работа содержит 29 рисунков, 19 таблиц и 6 приложений. Список литературы включает 221 наименование, в т.ч. 26 зарубежных.

В *первой главе* охарактеризована изученность вопроса и определена проблематика исследований в области изучения формирования стока и химического состава подземных вод. Во *второй главе* содержатся сведения по исходным материалам и описана методика исследований. *Третья глава* посвящена изучению факторов формирования (физико-географических и геологических) ресурсов и состава подземных вод в пределах зоны активного водообмена Среднеобского бассейна. В *четвертой* проведено исследование стока подземных вод зоны активного водообмена, в том числе дана общая характеристика подземного стока и его многолетних изменений. Также проведен анализ изменений уровня режима подземных вод и речного стока. В *пятой главе* приводятся результаты исследований химического состава изучаемых вод, включая общую его характеристику, влияние болотных вод, а также термодинамические условия состояния системы «вода–порода». Здесь же рассматриваются временные изменения химического состава. *Шестая глава* посвящена анализу изменений и выявлению связи между изменениями подземного стока, химического состава подземных вод и факторами формирования (климат и термодинамические условия состояния системы «вода–порода»).

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю, д.г.н., проф. Олегу Геннадьевичу Савичеву за постоянное внимание, советы и помощь в работе. За поддержку и ценные критические замечания в процессе выполнения и апробации работы искреннюю благодарность автор выражает руководителю Сибирской гидрогеохимической школы д.г.-м.н., проф. Степану Львовичу Шварцеву, а также коллективам кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии и научно-образовательному центру «Вода» Национального исследовательского Томского политехнического университета. Отдельная благодарность к.г.-м.н. Виктору Александровичу Лыготину и к.г.-м.н. Юрию Васильевичу Макушину за неоценимую помощь при проведении работ.

СОДЕРЖАНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ

1. В конце 1960-х – начале 1970 гг. в Среднеобском бассейне произошло увеличение подземного стока, доли подземного притока в реки и уровней подземных вод зоны активного водообмена вне участков явного антропогенного влияния. Увеличение средней величины подземного стока составило 10 %; доли подземного притока – 18 %.

Объектом исследований являются подземные воды зоны активного водообмена, т.е. воды, находящиеся выше базиса эрозии и дренирующиеся реками, в пределах Среднеобского гидрогеологического бассейна. Выбор пунктов наблюдений выполнен, исходя из условия минимальной антропогенной нагрузки на окружающую среду, приуроченности к наиболее характерным водоносным комплексам (четвертичным и палеогеновым) и длительности наблюдений. Схема расположения пунктов наблюдений приведена на *рис. 1*.

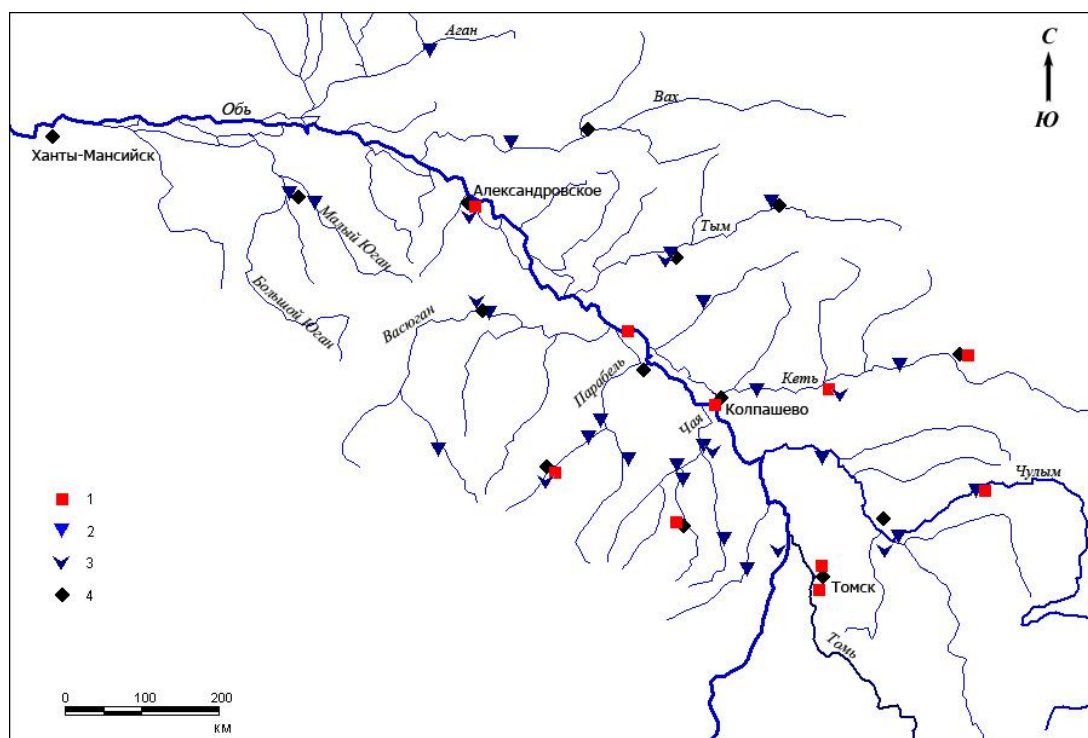


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений

1 – гидрогеохимических; *2* – гидрологических; *3* – за уровнями подземных вод; *4* – метеорологических

Водоносные горизонты неоген-четвертичных и палеогеновых отложений развиты повсеместно. Четвертичный комплекс является первым от поверхности, палеогеновый залегает непосредственно под ним, часто на достаточно малых глубинах. Комплексы тесно связаны между собой. Условия формирования подземных вод определяются природно-климатическими факторами, а в случае отложений палеогена – еще и степенью изолированности их от поверхности земли, обусловленной наличием водоупоров в перекрывающей толще.

Сток подземных вод рассматривается как часть их естественных ресурсов, характеризующаяся величиной питания за счет инфильтрации атмосферных осадков,

поглощения речного стока и перетекания из других водоносных горизонтов, определяемая величиной расхода или толщиной слоя воды, поступающего на уровень подземных вод.

В данной работе для расчета подземного стока был использован метод расчленения речных гидрографов. Подземное питание рек, выбранных для исследований, является смешанным, т.е. представляет собой сумму грунтового и артезианского стоков в реки. От соотношения долей участия данных видов питания рек зависит форма гидрографа стока подземных вод. При расчленении гидрографа имеется своя определенная погрешность расчетов для каждой отдельной реки, и дальнейшие обобщения могут вести к некорректным результатам вследствие сложения таких ошибок. Во избежание такого результата для регионального обобщения был использован метод расчленения речных гидрографов линейной интерполяцией. Этот способ позволяет оценивать подземный сток во всех створах с одинаковой погрешностью. В годовом масштабе ошибки расчета стока нивелируются и соотносятся с результатами, полученными при классическом расчленении гидрографа.

Расчет подземного стока проводится при помощи интерполяции между точками, соответствующими началу весеннего половодья и началу зимней межени по уравнению:

$$Q_{подз} = \begin{cases} Q_n, & n=12, n<4 \\ Q_3 + \frac{Q_{12}-Q_3}{12-3}(n-3) \end{cases}$$

где Q_n – средний расход воды реки за n -й месяц; n – номер расчетного календарного месяца.

Метод позволяет оценить наиболее устойчивую часть стока подземных вод, формирующегося под влиянием гидрогеологических, гидрометеорологических и факторов текущего и предыдущих лет. Величину подземного стока определяет в основном приток вод неоген-четвертичных и палеогеновых отложений. Расчет подземного стока выполнен на основе данных 22 гидрологических постов за период с 1936 по 2007 г. (рис. 1, табл. 1).

Сток подземных вод в пределах исследуемого бассейна составляет $1,8 \text{ л}/(\text{с} \times \text{км}^2)$, изменяясь от $0,2$ у р. Икса, с. Плотниково до $4,4 \text{ л}/(\text{с} \times \text{км}^2)$ у р. Вах, с. Лобчинское. Значительные различия в величинах подземного стока наблюдаются для лево- и правобережной частей р. Обь – $0,95$ и $2,70 \text{ л}/(\text{с} \times \text{км}^2)$ соответственно. В пространственном отношении распределение подземного стока подчинено региональной зональности, т.е. сток увеличивается в общем плане с юго-запада на северо-восток. Доля подземного притока в реки в среднем для бассейна составляет 32% , изменяясь от 11% на р. Икса у с. Плотниково до 49% на р. Кеть у с. Родионовка. Внутригодовое распределение стока подземных вод для всех пунктов имеет одинаковый характер. Максимальный сток наблюдается в декабре, минимальный – в феврале–марте. Рассчитанные величины стока согласуются с полученными ранее оценками Б.И. Куделина, В.А. Всевожского, И.С. Зекцера, В.С. Ковалевского, И.М. Земсковой, Ю.К. Смоленцева и др.

Многолетние изменения стока подземных вод оценены с использованием статистического анализа за период с 1936 по 2007 г. В 1960–1970-х гг. в большинстве случаев выявлено нарушение однородности, свидетельствующее об изменении исследуемых величин. Многие исследователи выделяют аналогичные периоды в формировании водного стока, поэтому для дальнейшего анализа весь временной ряд наблюдений был разделен на два сопоставимых по длительности периода: 1936–1969 и 1970–2007 гг.

В многолетнем периоде с 1936 по 2007 г. нарушение однородности рядов стока подземных вод отмечено в 64 % случаев, в большинстве из них выявлена неоднородность по дисперсии (табл. 1). Все выявленные нарушения связаны с увеличением подземного стока. Среднее увеличение годового подземного стока составило 10 % (рис. 2).

Таблица 1 – Результаты статистического анализа многолетних изменений среднегодовых величин модуля подземного стока в Среднеобском бассейне за 1936-2007 гг.

Река, пункт наблюдений	Период	М, л/(с×км ²)	$\tau/\tau_{кр}$	$t/t_{кр}$	F/F _{кр}	Река, пункт наблюдений	Период	М, л/(с×км ²)	$\tau/\tau_{кр}$	$t/t_{кр}$	F/F _{кр}
Аган, Варь-Еган	1937-2007	3,14±0,08	-0,30	0,23	1,77	Малый Юган, Кинямини Пайдугина, Березовка	1937-2007	1,51±0,14	0,45	0,25	0,68
	1937-1969	3,13±0,09	0,39	0,04	1,33		1937-2007	2,89±0,06	1,33	1,07	0,09
	1970-2007	3,15±0,13	-0,96	0,20	2,66		1937-1969	2,67±0,05	1,08	1,91	1,72
Бакчар, Гореловка	1937-2007	0,59±0,01	0,22	0,22	7,68	Парабель, Новиково	1970-2007	3,08±0,09	-0,65	0,58	0,11
	1937-1969	0,57±0,02	-0,81	0,70	1,13		1937-2007	1,23±0,02	0,34	0,09	0,87
	1970-2007	0,61±0,02	-0,23	0,05	10,76		1937-2007	1,05±0,28	0,28	0,13	6,92
Большой Юган, Угут	1937-2007	1,43±0,04	0,48	0,26	0,52	Парбиг, Веселый	1937-1969	1,03±0,02	-0,46	0,75	0,64
Васюган, Майск	1937-2007	0,52±0,02	0,39	0,26	0,56		1970-2007	1,07±0,02	-0,34	0,05	6,42
Васюган, Средний Васюган	1937-2007	1,13±0,03	0,27	0,22	0,33		Тым, ВанжилыКынак	1937-2007	2,82±0,05	2,31	0,76
Вах, Лобчинское	1937-2007	4,10±0,07	2,77	1,26	0,08	Тым, Напас	1937-2007	2,88±0,05	2,99	1,37	0,09
	1937-1969	3,73±0,07	0,49	3,18	0,81		1937-1969	2,58±0,05	1,23	3,47	1,07
	1970-2007	4,43±0,08	0,49	0,73	0,10		1970-2007	3,15±0,07	0,17	0,79	0,11
Икса, Плотниково	1937-2007	0,20±0,01	0,61	0,25	1,59	Чая, Подгорное	1937-2007	1,05±0,03	0,08	1,36	0,12
	1937-1969	0,16±0,01	-0,96	1,44	1,58		1937-1969	1,04±0,05	-1,43	0,05	0,92
	1970-2007	0,24±0,02	-0,54	0,05	2,23		1970-2007	1,05±0,03	1,88	1,70	0,07
Кенга, Центральный	1937-2007	1,12±0,02	-0,12	0,92	0,26	Чузык, Осипово	1937-2007	1,19±0,03	-0,31	0,92	0,21
Кеть, Максимкин Яр	1937-2007	2,14±0,05	1,33	0,11	1,61	Чулым, Тегульдэт	1937-2007	1,23±0,03	0,55	0,11	1,29
	1937-1969	2,00±0,05	0,61	1,63	0,92		1937-1969	1,18±0,04	-0,49	0,74	0,62
	1970-2007	2,27±0,07	-0,15	0,44	1,83		1970-2007	1,27±0,05	0,36	0,27	1,44
Кеть, Родионовка	1937-2007	2,97±0,08	-0,21	0,07	3,63	Шегарка, Бабарыкино	1937-2007	0,34±0,01	1,54	0,03	1,55
	1937-1969	2,85±0,03	-1,01	0,46	14,00		1937-1969	0,30±0,01	-0,82	2,14	0,73
	1970-2007	3,00±0,15	-0,95	0,13	6,99		1970-2007	0,38±0,01	0,49	0,43	1,48

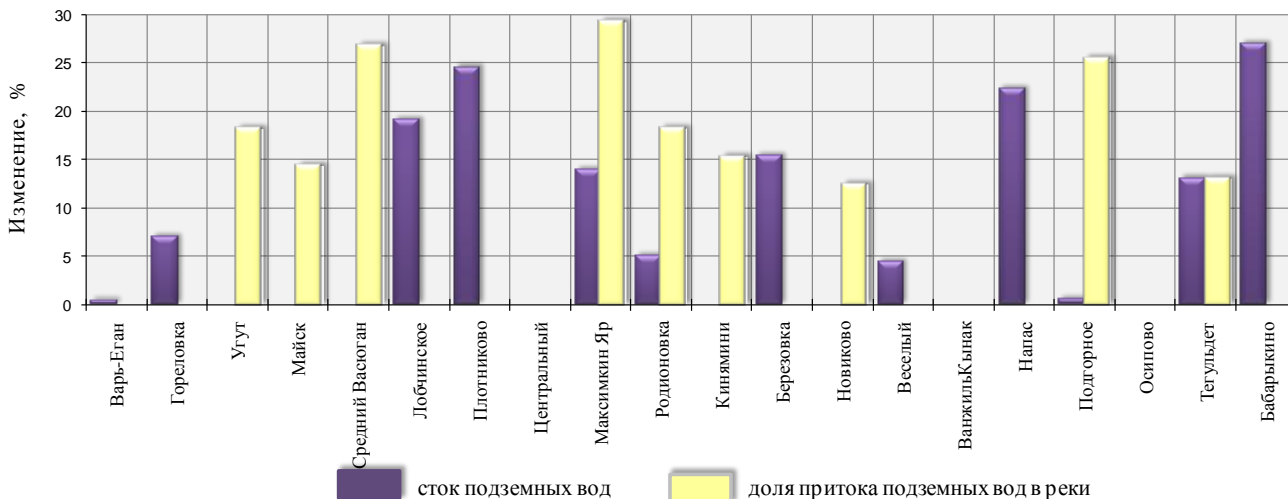
Примечание: М – модуль стока подземных вод; $\tau/\tau_{кр}$, $t/t_{кр}$, F/F_{кр} – отношение фактического к критическому значению критерия Питмена, Стьюдента и Фишера соответственно. При $\tau/\tau_{кр} \geq 1$ делается вывод о нарушении случайности исследуемого ряда. При $t/t_{кр} \geq 1$ и F/F_{кр} ≥ 1 – о нарушении однородности ряда по среднему и по дисперсии соответственно.

Наблюдаются также изменения доли подземного притока в реки (рис. 2). В периоде с 1936 по 2007 г. выявлено нарушение однородности рядов в 48 % случаев, в 56 % – линейные тренды, связанные с увеличением доли подземного стока. Таким образом, среднее увеличение доли подземного притока в реки для Среднеобского бассейна составило 18 %.

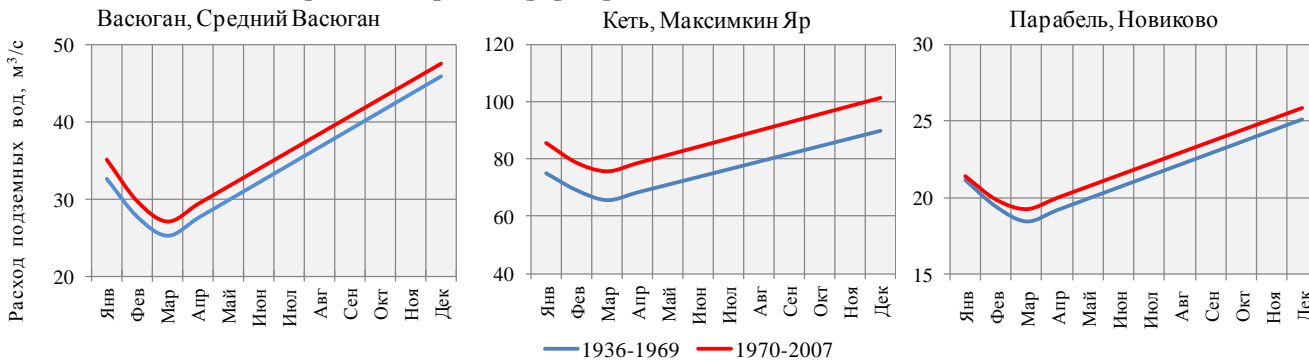
а) Типовые графики многолетней изменчивости среднегодовых расходов подземных вод



б) Изменения (%) среднегодовых величин стока подземных вод и доли подземного стока в речном за однородные периоды формирования – 1936-1969 гг. и 1970-2007 гг.



в) Типовые графики внутригодового распределения стока подземных вод за однородные периоды формирования – 1936-1969 гг. и 1970-2007 гг.



г) Изменения (%) среднемесячных величин стока подземных вод

для Среднеобского бассейна за однородные периоды формирования – 1936-1969 гг. и 1970-2007 гг.

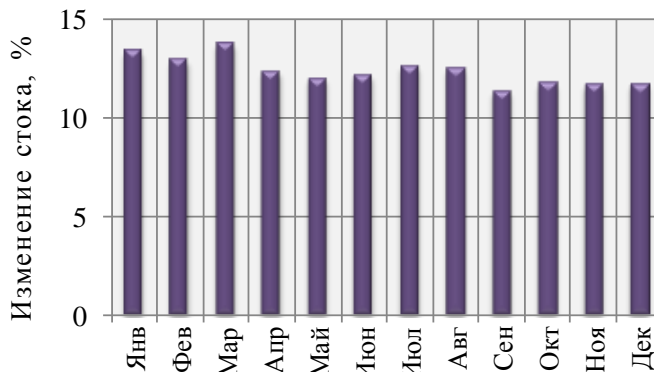


Рис. 2. Многолетние изменения стока подземных вод и доли подземного стока в речном в пределах отложений четвертичного и палеогенового возраста Среднеобского бассейна за 1936–2007 гг.

В результате статистического анализа месячных значений стока подземных вод выявлено значимое его увеличение на большей части территории. В 31 % пунктов отмечены также положительные линейные тренды. Изменения наблюдаются во всех месяцах примерно на одном уровне – 12 %. Закономерности распределения стока внутри года сохраняются (*рис. 2*).

Уровенный режим подземных вод был изучен по опубликованным материалам В.А. Льготина, Ю.В. Макушина, О.Г. Савичева. Для анализа использованы данные по восьми наблюдательным скважинам (*рис. 1*), находящимся вне зоны явно выраженного антропогенного влияния и вскрывающих воды отложений четвертичного и палеогенового возраста за период с середины 1960-х по 2005 г.

Часть анализируемых скважин вскрывает грунтовые воды, для которых свойственны весенне-осеннее питание при инфильтрации вод и преимущественно террасовый вид режима, а остальные – напорные воды весенне-осеннего питания.

В результате анализа выявлено увеличение уровней подземных вод зоны активного водообмена в середине 1980-х гг. Рост уровней происходит в течение всего года и отражается на среднегодовых значениях. Наиболее выраженное увеличение характерно для зимнего периода (в среднем по всем скважинам – 0,23 м), наименьшее – для летне-осеннего сезона (0,09 м). В среднем за исследуемый период уровни выросли на 0,21 м. Между среднегодовыми уровнями подземных вод в отдельных скважинах в большинстве случаев выявлена статистически значимая корреляция, что свидетельствует о региональном характере тенденции к увеличению уровней подземных вод в последние годы.

2. В середине 1970-х гг. произошло значимое изменение гидрогеохимических условий зоны активного водообмена Среднеобского бассейна вне участков явного антропогенного влияния. Важнейшим проявлением таких изменений является увеличение средней минерализации (41 мг/л / 15 %), рН (0,5 / 7 %), содержания гидрокарбонатного иона (27 мг/л / 15 %), иона кальция (5 мг/л / 15 %), железа (1,3 мг/л / 12 %) и иона аммония (0,5 мг/л / 18 %). Уровень содержания органического вещества в целом остается постоянно высоким (5,5 мгО₂/л).

Гидрогеохимический режим оценен по данным 21 режимной скважины (*рис. 1*) с длительными рядами наблюдений с середины 1960-х по 2006 г., без явно выраженной антропогенной нагрузки и без изменений в условиях эксплуатации. Около половины скважин вскрывает грунтовые воды четвертичных отложений с террасовым режимом и весенне-осенним питанием при инфильтрации вод. Остальные – напорные воды палеогеновых отложений весенне-осеннего питания. Глубины скважин в целом небольшие и составляют порядка 8 м.

В соответствии с классификацией О.А. Алекина рассматриваемые подземные воды обычно пресные со средней и, реже, повышенной минерализацией, гидрокарбонатные

кальциевые (четвертичные отложения) и гидрокарбонатные кальциево-магниевого (палеогеновые отложения), нейтральные.

Минерализация подземных вод четвертичных отложений в среднем для Среднеобского бассейна составляет 351 мг/л, палеогеновых – 364 мг/л. По анионному составу данные подземные воды являются гидрокарбонатными (более 90 %-экв HCO_3^-). Содержание хлор- и сульфат-ионов невелико. Территория характеризуется низкими содержаниями сульфатов в подземных водах, что обусловлено полным отсутствием здесь гипсов и ангидритов, которые являются основными источниками сульфатов в водах. В катионном отношении подземные воды четвертичных отложений являются кальциевыми ($\text{Ca}^{2+}=73,2$ %-экв), в палеогеновых – кальциево-магниевого ($\text{Ca}^{2+}=56,9$ %-экв, $\text{Mg}^{2+}=36,7$ %-экв). Среднее содержание ионов натрия и калия составляет около 6 %-экв, при этом в палеогеновых водах содержание ионов натрия и калия хоть и незначительно, но выше, чем в четвертичных. В целом, различия между составом вод четвертичных и палеогеновых отложений незначительны, что объясняется тесной гидравлической связью водоносных комплексов между собой, а также их связью с поверхностными и болотными водами.

Пространственные изменения минерализации рассматриваемых подземных вод имеют хорошо выраженный зональный характер и в целом совпадают с пространственными изменениями интенсивности водообмена – чем больше модули водного стока, тем меньше минерализация подземных вод.

Для рассматриваемых подземных вод характерно высокое содержание органического вещества (по перманганатной окисляемости) – 5,3 и 4,9 $\text{мгO}_2/\text{л}$ соответственно, соединений железа – 7,4 мг/л и 5,4 мг/л, ионов аммония – 1,8 и 2,3 мг/л, которые превышают средние содержания, рассчитанные для зоны выщелачивания умеренного климата. Во всех случаях повышенные содержания обусловлены, прежде всего, природными особенностями территории, в частности высокой ее заболоченностью и тесной взаимосвязью подземных и болотных вод.

Анализ временных изменений компонентов химического состава был выполнен по средним годовым и сезонным значениям за период с середины 1960-х гг. до 2006 г. Оценка внутригодовых изменений проводилась по сезонным значениям в целях изучения связей изменений химического состава с факторами его формирования.

Начиная с середины 1970-х гг. наблюдаются значимые изменения химического состава подземных вод зоны активного водообмена Среднеобского бассейна (рис. 3). Так, на большей части территории (более 60 %) происходит рост минерализации подземных вод и в среднем составляет 41 мг/л или 15 %. Внутри года наиболее выражены изменения минерализации в летне-осеннем и зимнем периодах. Изменение минерализации происходит за счет соответствующего роста содержания макрокомпонентов, в частности гидрокарбонатного иона

и иона кальция. Рост содержаний данных ионов в среднем составляет 27 и 5 мг/л или 15 % соответственно. Наиболее выражены изменения для зимнего периода, но наблюдаются в течение всего года.

Однозначных тенденций в изменении содержаний других макрокомпонентов не выявлено ни в годовом, ни в сезонном масштабе.

Практически для всей территории выявлены положительные тренды в изменении величины рН, в среднем рост составил 0,5 или 7 %. При этом тип воды остался неизменным.

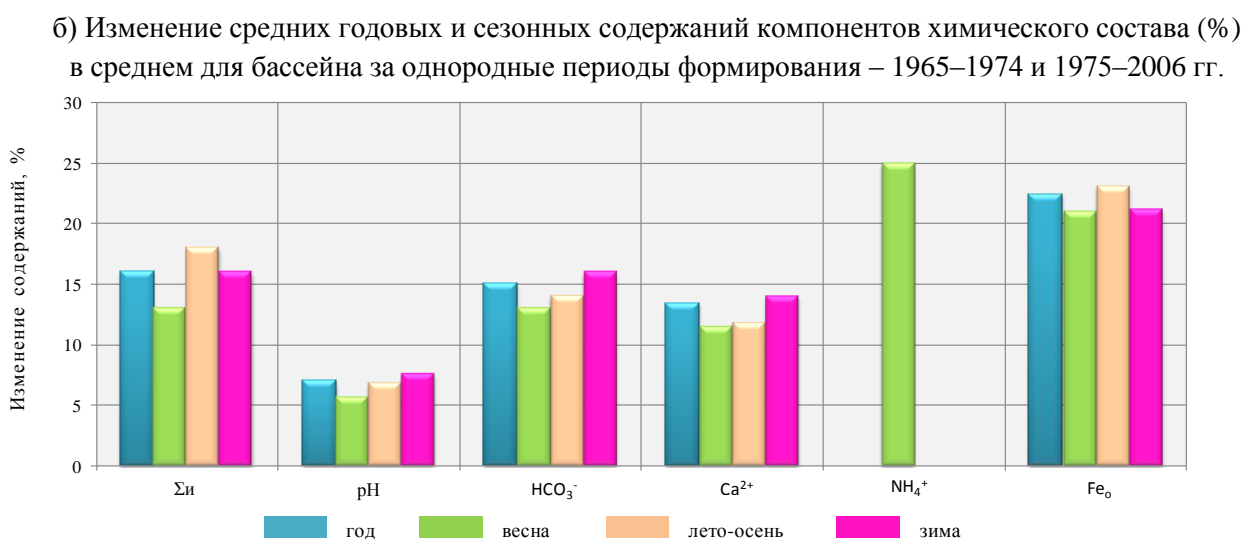
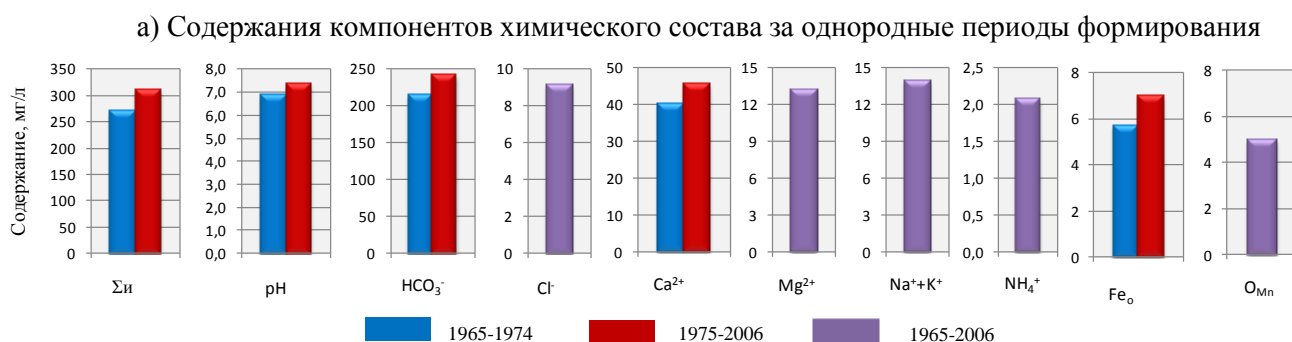


Рис. 3. Графики многолетних изменений в химическом составе подземных вод отложений четвертичного и палеогенового возраста в Среднеобском бассейне за период 1965–2006 гг.

В отношении аммонийного иона в годовом масштабе не выявлено значимых тенденций. При этом отмечен его рост в весенний период, который в среднем составил 0,5 мг/л или 18 %. Изменения общего железа отмечены для всей исследуемой территории и связаны они также с ростом его содержаний. Увеличение наблюдается по всем сезонам года и сказывается на годовом значении. В среднем концентрация железа возросла на 1,3 мг/л или 12 %. Наблюдается также нарушение дисперсии в содержании органического вещества, но оно не ведет к каким-либо изменениям показателя. Величина окисляемости за рассматриваемый промежуток времени остается стабильной на высоком уровне 5,5 мгО₂/л.

3. Основной причиной изменений гидрогеохимических условий зоны активного водообмена Среднеобского бассейна вне участков явного антропогенного влияния является увеличение подземного стока и рост уровней подземных вод, увеличение продолжительности и сдвиг временных границ переходных сезонов, а также рост температур воздуха, почв и непосредственно самих подземных вод.

Выявленные изменения химического состава подземных вод в гидрогеологическом плане не изменили соотношений ионов между собой, тип воды или ее качество. Данные изменения скорее связаны с изменениями в условиях формирования химического состава. Основным фактором формирования состава подземных вод верхних водоносных горизонтов является климат. О значительной роли климатических условий в формировании химического состава свидетельствует и хорошо выраженный зональный характер изменения минерализации подземных вод. Главными климатическими характеристиками являются температура воздуха и количество атмосферных осадков, а также температура почв, которая на небольших глубинах может влиять на температуру непосредственно подземных вод.

Изменения температуры приземных слоев атмосферного воздуха оценены для 13 метеостанций (*рис. 1*) по средним месячным и годовым значениям, средним температурам ниже нуля, выше нуля и выше 10 градусов Цельсия за период с 1935 по 2006 г.

Изменение среднегодовой температуры отмечено для половины территории и связано с ее ростом с начала 1970-х гг. ($0,81^{\circ}\text{C}$). Закономерное изменение средней температуры ниже 0°C характерно для половины исследуемых станций и связано также с ее увеличением ($1,3^{\circ}\text{C}$). Изменение средней температуры выше 0°C отмечено для трети территории, но связано как с ее увеличением, так и уменьшением. Изменение средней температуры выше 10°C выявлено также на трети территории, но во всех случаях обусловлено ростом температуры ($0,47^{\circ}\text{C}$). Следует отметить, что увеличение средней температуры, включая рост отрицательных и положительных температур, характерно для 81 % исследованных станций. В 6 % случаев происходит снижение средней положительной температуры, но при этом для периода с начала 1970-х гг. характерно наличие положительных линейных трендов. Таким образом, потепление приземных слоев атмосферного воздуха наблюдается практически на всей исследуемой территории.

Внутригодовой ход температур также претерпевает изменения, отмеченные во всех месяцах года. Наиболее выражены изменения температуры в зимне-весенний и осенне-зимний периоды (*рис. 4*). Наблюдается сдвиг границ перехода через 0°C : весной – на более ранний, осенью – на более поздний. При этом границы перехода остаются в рамках тех же месяцев – апреля и октября соответственно.

Выявленные увеличения температуры воздуха и изменения сроков перехода через 0°C свидетельствуют о сдвиге границ климатических и гидрологических сезонов. Сдвиг границ

ведет к более раннему началу теплого периода и началу снеготаяния и, соответственно, к более позднему переходу к зимнему и межленному периоду. При изменении продолжительности и временных границ сезонов увеличивается и время взаимодействия подземных вод с породой, что приводит к некоторому увеличению минерализации подземных вод. Кроме того, значение имеет и интенсивность взаимодействий, возрастающая при контакте дождевых и талых вод с породами в переходные периоды, продолжительность которых в последние годы увеличилась.

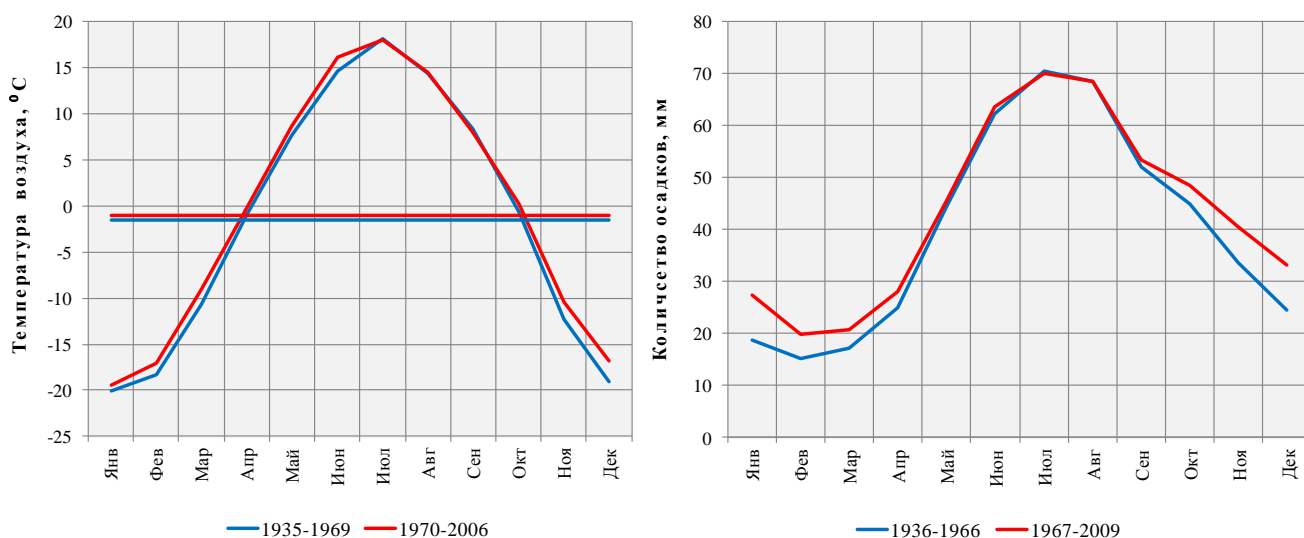


Рис. 4. Изменение внутригодового распределения температур атмосферного воздуха и количества атмосферных осадков (среднее по 13 станциям, *рис. 1*) в Среднеобском бассейне за однородные периоды формирования с 1935 по 2009 г.

По количеству атмосферных осадков можно судить об общей увлажненности территории, а по соотношению с поступающим теплом – об условиях, в которых формируются подземные воды. Временные изменения атмосферных осадков оценены для тех же метеостанций, что и температура воздуха, по среднемесячным и среднегодовым значениям. Ряды наблюдений здесь несколько короче, в основном с 1966 по 2009 г. На четырех метеостанциях: Александровское, Колпашево, Томск и Ханты-Мансийск ряды наблюдений начинаются с 1936 г. Значимых изменений в годовой сумме атмосферных осадков для Среднеобского бассейна не выявлено, увлажнение территории остается стабильным на уровне 450–550 мм. При этом внутри года наблюдается увеличение осадков в осенне-зимний период, в среднем на 36 мм (*рис. 4*).

Температура почв, также как и температура атмосферного воздуха, оказывает влияние на интенсивность процессов взаимодействия воды с породой. По изменениям температуры почв можно косвенно судить и о температуре подземных вод на небольших глубинах (до 3,2 м). Температура почв оценена для 11 станций (*рис. 1*) на глубинах 20, 80, 160 и 320 см. Период наблюдений около 45 лет – с середины 1960-х по 2007–2008 гг.

Изменения отмечены на всех глубинах, но при этом с увеличением глубины происходит более стабильный и равномерный рост температур почв по всей исследуемой территории

(рис. 5). Можно предположить, что и температура подземных вод будет увеличиваться, что согласуется с выводами других авторов об увеличении температур подземных вод верхней гидродинамической зоны Томской области.

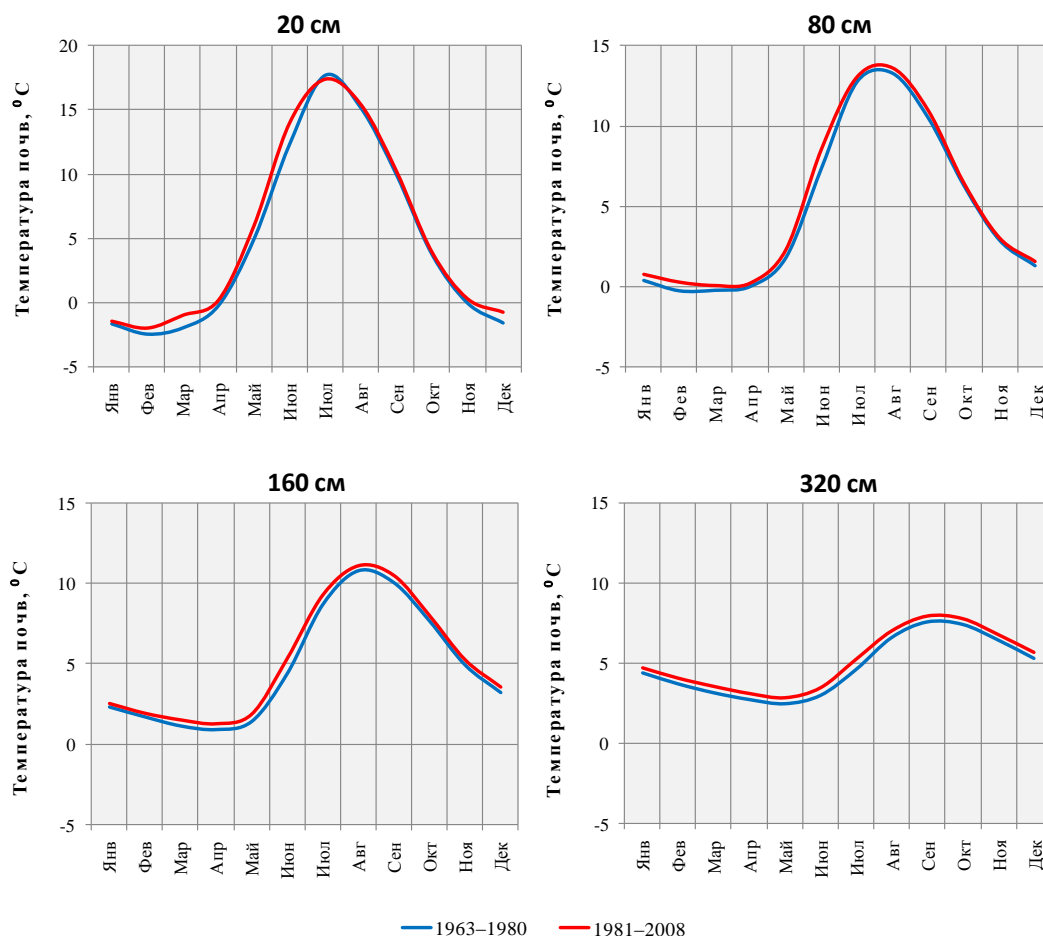


Рис. 5. Изменения температуры почв на глубинах 20, 80, 160 и 320 см (среднее по 11 станциям) на территории Среднеобского бассейна за однородные периоды формирования 1963–1980 и 1981–2008 гг.

Выявленный рост температур воздуха, почв и непосредственно подземных вод изменяет условия взаимодействия воды с породой, что способствует накоплению отдельных компонентов в подземных водах и соответственно изменениям в химическом составе.

Помимо климатических происходят изменения внутригодового распределения стока рек. Многолетние изменения речного стока оценены по данным 22 гидрологических постов за период с 1936 по 2007 г. (рис. 1). Так, в летне-осеннем периоде (июль–ноябрь) в 70 % случаев наблюдаются нарушения однородности, обусловленные уменьшением стока (9 %). Уменьшение характерно как для всего сезона в целом, так и отдельно для каждого из месяцев данного сезона (рис. 6). В зимнем периоде (декабрь–март) для 64 % случаев характерно нарушение однородности, но связанное с увеличением речного стока (12 %). Рост речного стока наблюдается для каждого из зимних месяцев в отдельности и для всего сезона в целом.

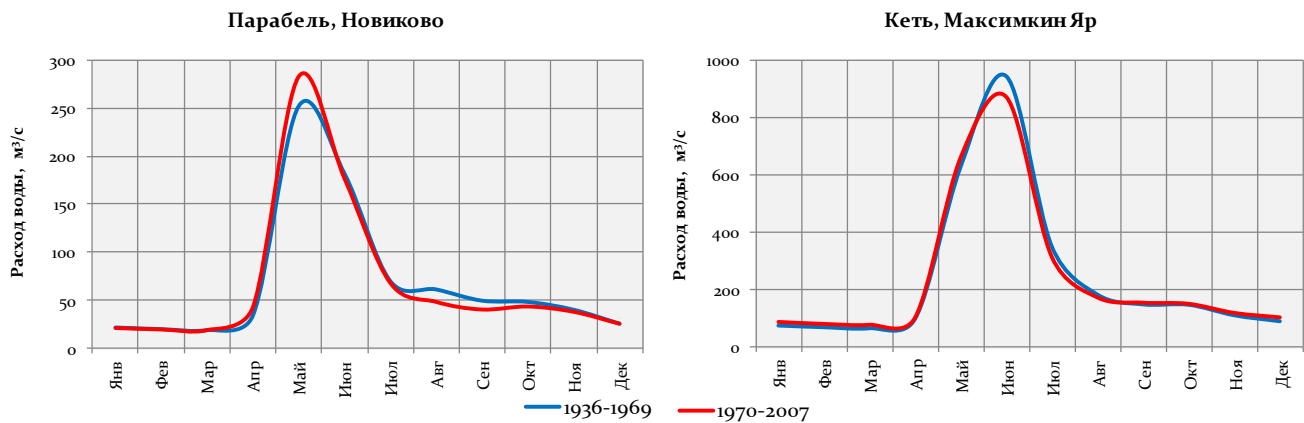


Рис. 6. Типовые графики изменения внутригодового распределения стока средних рек в Среднеобском бассейне за однородные периоды формирования 1936–1969 и 1970–2007 гг.

Проведен также анализ многолетней изменчивости состояния системы «вода–порода» как фактора формирования химического состава подземных вод. Состояние системы определяется величиной индекса насыщения L – отрицательные значения указывают на недосыщение, а положительные – на пересыщение раствора относительно минералов, взаимодействие с которыми рассматривается. В результате анализа в большинстве исследованных скважин наблюдается рост индекса L с середины 1970-х гг.

Состояние системы «вода–порода» в целом остается неизменным. Воды равновесны к гуматам кальция и магния, кварцу, на части территории – к кальциту и доломиту, к формируемым вторичным минералам (каолинит, гиббсит). К первичным алюмосиликатам данные подземные воды неравновесны. Увеличение индексов насыщения свидетельствует главным образом об изменении в условиях взаимодействия подземных вод с породами, а также о продолжении и развитии во времени протекающих процессов растворения первичных алюмосиликатов, формирования вторичных минералов и насыщения подземных вод отдельными компонентами, что подтверждает роль фактора времени в состоянии системы «вода–порода».

Предложен следующий механизм изменения гидрогеохимических условий. Начало зимней межени смещается на более поздние сроки и смещается начало кривой спада расходов воды. Снеготаяние начинается раньше, вследствие чего продолжительность межени дополнительно уменьшается. Увеличение подземного стока в зимний период влечет за собой повышение уровней подземных вод, а общее повышение температуры воздуха – увеличение температуры почв и подземных вод. Изменение водного режима «поддерживается» или даже усиливается аккумуляцией влаги в водосборных бассейнах на фоне прогрессирующего заболачивания территории. Увеличение стока подземных вод и рост их уровней, перераспределение речного стока, а также увеличение поступающего тепла (рост температур воздуха и почв) ведут к изменению условий взаимодействия подземных вод с породой, что в свою очередь способствует изменениям гидрогеохимического режима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В пределах Среднеобского гидрогеологического бассейна в последние 30–40 лет произошли значимые изменения гидрогеохимических условий, заключающиеся в увеличении стока подземных вод отложений четвертичного и палеогенового возраста и их притока в реки, росте уровней данных подземных вод, а также в изменении их химического состава. Произошло увеличение минерализации, рН, содержаний гидрокарбонатного иона и иона кальция, рост содержаний железа и иона аммония. Уровень содержаний органического вещества в целом остается постоянно высоким.

2. Помимо абсолютных изменений гидрологических и гидрогеологических характеристик происходит изменение внутригодового распределения речного стока, обусловленные изменениями стока подземных вод и их притока в реки, а также смещением границ и увеличением продолжительности гидрологических и климатических сезонов.

3. Изменения водного стока, климатических факторов и термодинамических условий состояния системы «вода–порода» обуславливают изменения условий взаимодействия подземных вод с породой, что является основной причиной изменения гидрогеохимического режима бассейна.

4. Полученные результаты необходимо учитывать при организации хозяйственно-питьевого водоснабжения, проведении мониторинга геологической среды, планировании различных водохозяйственных мероприятий, инженерных изысканий для строительства и т.п.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Савичев О.Г., Камнева О.А. Водный сток реки Вах (Западная Сибирь), условия его формирования и многолетние изменения // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 1. – С. 71–76.
2. Савичев О.Г., Камнева О.А. Закономерности пространственных изменений химического состава подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 138–143.
3. Савичев О.Г., Камнева О.А. Пространственно-временные изменения минерализации подземных вод в бассейне Средней Оби // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 67–70.
4. Савичев О.Г., Льготин В.А., Камнева О.А. Многолетние изменения гидрогеодинамического режима подземных вод Обского бассейна // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 11. – С. 32–35.
5. Льготин В.А., Савичев О.Г., Макушин Ю.В., Камнева О.А. Многолетняя изменчивость химического состава подземных вод на территории Томской области // География и природные ресурсы. – 2012. – № 2. – принята к печати.

Прочее

6. Савичев О.Г., Камнева О.А. Химический состав подземных и болотных вод таежной зоны Западной Сибири в естественном и нарушенном состояниях // Вестник науки Сибири. – 2011. – № 1. – С. 23–29. <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/145>
7. Камнева О.А. Водный сток р. Вах и его многолетние изменения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XII Международного симпозиума им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых, 2008. – т. 1. – С. 258–259.
8. Камнева О.А. Изменения гидрологических условий в бассейне р. Вах // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIII Международного симпозиума им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых, 2009. – т. 1. – С. 195–197.
9. Камнева О.А. Подземный водный сток в южнотаежной подзоне бассейна средней Оби // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIV Международного симпозиума им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых, 2010. – т. 1. – С. 363–365.
10. Камнева О.А. Изменения водного стока на территориях интенсивного развития нефтегазодобывающего комплекса (на примере южно-таежной подзоны бассейна Средней Оби) // Реки Сибири: Материалы V Международной конференции. – Томск: Дельтаплан, 2010. – С. 48–51.
11. Камнева О.А. Особенности химического состава подземных вод таежной зоны Западной Сибири // Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии: Материалы Международной научно-практической конференции – п. Зеленый, Московская обл., 18–22 апр. 2011. – с. 283–296.