

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 556.314.6(282.256.1)

ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ РЕЧНЫМИ И ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ТОМЬ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ)

© 2021 г. О. Н. Владимирова^{1,*}, О. Г. Савичев^{1,**}

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов,
пр. Ленина, 30, Томск, 634050 Россия

*E-mail: onv-2018@yandex.ru

**E-mail: OSavichev@mail.ru

Поступила в редакцию 21.09.2020 г.

После доработки 19.01.2021 г.

Принята к публикации 28.05.2021 г.

Выполнен анализ взаимосвязей между количеством и составом атмосферных, речных и подземных вод в водосборах шести малых притоков р. Томь в окрестностях г. Томск (Российская Федерация, Западная Сибирь, бассейн р. Обь) по данным многолетних гидрогеологических и гидрологических наблюдений (с 1970-х гг. до 2019 г.). Показано, что при снижении интенсивности водообмена увеличивается время взаимодействия в системе “вода–порода” и, соответственно, суммарное содержание в подземных водах растворенных солей. Впервые для участка нижнего течения Томи установлено, что степень взаимосвязанности речных, подземных грунтовых и артезианских вод может быть оценена с помощью коэффициента вариации $Cv(Y_m)$ месячных значений слоя стока малых рек — чем больше значение $Cv(Y_m)$, тем больше “закрытость” глубоких водоносных горизонтов и минерализация подземных вод. Установлено, что для территорий со значительным пополнением влагозапасов в теплый период года (в правобережной части водосбора Томи) преобладают процессы выщелачивания и растворения горных пород, а для территорий с преобладающим пополнением ресурсов подземных вод в период снеготаяния (в левобережной части бассейна Томи) более значительную роль играют процессы поступления веществ извне, включая атмосферные осадки.

Ключевые слова: водный баланс, геохимический баланс, речные и подземные воды, Алтае-Саянская гидрогеологическая складчатая область, Западно-Сибирский артезианский бассейн, притоки р. Томь, Томск

DOI: 10.31857/S0869780921040111

ВВЕДЕНИЕ

Проблема снабжения населения качественной питьевой водой чрезвычайно актуальна во многих регионах, в том числе и в г. Томск — административном центре Томской области (Российская Федерация, Сибирский федеральный округ). Соответственно, большое значение имеют исследования условий формирования ресурсов и состояния подземных вод, используемых для питьевых нужд. Водоснабжение Томска осуществляется из Томского подземного водозабора (в размере около 200 тыс. м³/сут) и ряда менее значительных водозаборов и отдельных скважин [15, 29].

В последние годы территория городской застройки расширяется, что определяет задачу обеспечения качества подземных вод, в том числе за счет организации и контроля состояния санитарных зон водозаборов и водоохраных зон рек,

водосборы которых полностью или частично совпадают с областями питания и разгрузки подземных вод. Важность этих вопросов определяется тем, что отбор подземных вод, гидравлически связанных с реками, потенциально может привести к уменьшению их стока и поступлению в подземные водоносные горизонты загрязняющих веществ с поверхности и зоны аэрации (поверхностный сток, утечки из систем водо- и теплообеспечения, канализации, автозаправочных комплексов и иных производственных объектов). Кроме того, при застройке территории изменяются условия формирования поверхностного и подземного стока, водное питание более глубоких горизонтов и, как следствие, ухудшение качества подземных вод [6, 27, 37].

С учетом этого в Томском политехническом университете (ТПУ) совместно со специалистами ряда научных и производственных организаций



- Условные обозначения
- Пункты гидрологических наблюдений
 - Реки
 - - - Границы субъектов в РФ
- Гидрогеологическое районирование
- Алтае-Саянская гидрогеологическая складчатая область
 - Западно-Сибирский артезианский бассейн

Рис. 1. Схема размещения пунктов гидрологических наблюдений (номера пунктов приведены в табл. 1).

проводятся многолетние исследования подземных и поверхностных источников водоснабжения г. Томск и условий их формирования [16, 17, 31]. Ниже изложены результаты одного из этапов этих исследований в рамках работ по оценке защищенности подземных вод, используемых для водоснабжения Томска и Томского района, — выявление связей между химическим составом и стоком подземных и речных вод.

Объекты исследования — подземные и речные воды в водосборах малых притоков р. Томь на участке ее нижнего течения: правобережные притоки — реки Киргизка (Большая Киргизка), Ушайка, Басандайка; левобережные притоки — реки Порос, Кисловка, Лебяжья (рис. 1). Выбор указанных объектов обусловлен следующими обстоятельствами.

Рассматриваемая территория охватывает две гидрогеологические структуры I порядка — Западно-Сибирский артезианский бассейн (ЗСАБ) и Алтае-Саянская гидрогеологическая складчатая область (АСГСО). Последняя структура включает гидрогеологическую структуру II порядка Алтае-Томский гидрогеологический массив [33].

Водосборы правобережных притоков (рр. Басандайка, Ушайка и часть Большой Киргизки) приурочены к АСГСО и границе южной тайги. Водосборы левобережных притоков (часть притока р. Большая Басандайка и рр. Порос, Кисловка, Лебяжья) — к ЗСАБ и лесостепи. Приближенное гидрогеологическое строение можно представить в виде сочетания водоносных отложений (сверху вниз):

1) в левобережье Томи — неоген-четвертичного и палеогенового (ниже палеогенового комплекса залегают меловой, характеризующийся заметно большим содержанием в подземных водах растворенных солей; у Томи к поверхности выходят образования палеозоя, в водосборе р. Лебяжья более существенно распространение водоносных отложений неогена);

2) в правобережье Томи — отложения четвертичного, палеогенового, мелового и палеозойского возрастов.

По данным, опубликованным в бюллетенях о состоянии геологической среды на территории СФО (ФГБУ «Гидроспецгеология» и Сибирский региональный центр ФГБУ «Гидроспецгеология»), в геологическом разрезе ЗСАБ наглядно выделяется складчатый фундамент, сложенный породами доюрского возраста, и чехол, образованный платформенными полого залегающими терригенными осадками мезозоя и кайнозоя. В разрезе мезойско-кайнозойского бассейна располагаются два гидрогеологических этажа с отличительными особенностями формирования подземных вод. Этажи разделены мощным региональным водоупором верхнемелового-палеогенового возраста, который выклинивается в краевой зоне бассейна. Верхний гидрогеологический этаж представляет собой многослойную фациально изменчивую толщу, включающую более 30 водоносных горизонтов, приуроченных к палеогеновым, неогеновым и четвертичным отложениям. Этаж характеризуется свободным водообменом, однако, интенсивность водообмена с глубиной снижается и в нижней части этажа становится затруднительным [33].

Гидрогеологические условия АСГСО (Алтае-Томский ГМ II порядка) характеризуются также наличием двух гидрогеологических этажей (верхний приурочен к рыхлым мезо-кайнозойским отложениям, нижний — к палеозойским и протерозойским породам различного генезиса) и широ-

ким распространением трещинно-жильных вод. Поровые воды развиты в основном в четвертичных отложениях речных долин и прилегающих территорий. Наиболее подробно геологическая и гидрогеологическая информация изложена в многочисленных публикациях различных авторов и организаций [2–4, 8, 19, 25, 33].

Непосредственно Томский подземный водозабор эксплуатирует водоносные горизонты в отложениях палеогенового возраста в пределах Обь-Томского междуречья, в том числе, в границах водосборов рек Кисловка и, особенно, Порос. Водосбор Лебяжьей расположен к югу от области питания Томского водозабора. Северский подземный водозабор находится в водосборе правобережного притока Томи – р. Киргизка, и также эксплуатирует палеогеновый комплекс. Река Ушайка протекает через весь г. Томск, и в ее водосборе расположены достаточно крупный водозабор (Академический) и значительное количество одиночных скважин. В реки Киргизка и Ушайка поступает поверхностный сток с городской территории, пригородных населенных пунктов, крупных предприятий и значительный объем сточных вод (от нормативно-чистых до неочищенных). В водосборе Басандайки забор речных и подземных вод, сброс стоков проводится, но в меньших объемах, по сравнению с Ушайкой и Большой Киргизкой [8, 17, 31, 33].

Таким образом, рассматриваемая территория площадью около 5000 км² характеризуется заметным разнообразием природных и антропогенных условий формирования подземных и речных вод, а количество водосборов соответствует нижней границе применимости статистических методов анализа согласно [34]. Это позволяет попытаться выявить количественные взаимосвязи между подземными водами, используемыми для водоснабжения более чем полумиллиона человек, и водами малых рек. Количество последних по объективным причинам фиксированное и не может быть произвольно увеличено.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Гидрологические наблюдения на сети Росгидромета в настоящее время проводятся на Басандайке в створе п. Басандайка (сейчас – южная часть г. Томска), Поросе у с. Зоркальцево и Лебяжьей у с. Безменово, ранее выполнялись на Ушайке у п. Степановка, Кисловке у п. Тимирязево (сейчас – микрорайоны г. Томска), Киргизка у п. Кузовлево. Гидрологические работы на рр. Порос и Кисловка проводились ранее при переоценке запасов Томского водозабора специалистами Сибирского регионального центра ГМСН – филиала ФГБУ “Гидроспецгеология”, АО “Томскгеомониторинг”, Томской геолого-

разведочной экспедиции (ТГРЭ). Этими же организациями выполнялись и выполняются в настоящее время наблюдения за уровнями и химическим составом подземных вод на государственной и локальной наблюдательных сетях [1, 10, 16, 17, 33, 38]. Значительный объем геохимической информации получен в ТПУ и Томском филиале Института геологии и геофизики нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук (ТФ ИГГНГ СО РАН) [8, 9, 11, 12, 14, 24, 30, 39, 40]. Указанные материалы и послужили информационной основой исследования.

В основу концепции исследования положен анализ взаимосвязей между количеством и составом атмосферных, речных и подземных вод при допущении, что на рассматриваемой территории в зимний период (сезонные снежный покров и промерзание верхнего слоя грунтов на глубину до 2.0–2.2 м) речной сток формируется за счет подземных вод. В составе атмосферных осадков рассмотрены дождевые и снеготалые воды, а в составе подземных (согласно представлениям, изложенным в [40]) – грунтовые (безнапорные и слабонапорные воды первого от поверхности водоносного горизонта в зоне полного насыщения) и артезианские (напорные воды, залегающие между водоупорными слоями), включая грунтовые и артезианские воды зоны трещиноватости.

Методика исследования включала пять основных этапов:

- 1) расчет средних значений показателей химического состава подземных (грунтовых и артезианских), речных и атмосферных (дождевых и снеготалых) вод;
- 2) оценку элементов водного баланса водосборов исследуемых рек в среднем за многолетний период;
- 3) расчет подземной составляющей суммарного речного стока и выделение в ней долей водопритока из основных водоносных комплексов;
- 4) оценку элементов геохимического баланса водосборов в среднем за многолетний период;
- 5) выявление связей между элементами водного и геохимического балансов.

На первом этапе было выполнено обобщение данных о содержаниях главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^-), Fe, Si, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , величинах перманганатной окисляемости (ПО), pH, сухого остатка и удельной электропроводности, полученных в аккредитованных лабораториях Росгидромета, ТПУ, ТГРЭ, АО “Томскгеомониторинг” сопоставимыми или одинаковыми аттестованными методами. Более подробная информация о методиках отбора и подготовки проб, методов их анализа приведена в [23, 31].

Статистический анализ геохимической информации включал:

1) расчет среднего арифметического A , коэффициентов корреляции r и погрешностей их определения δ_A и δ_r (1, 2);

2) проверку на однородность выборок из разных водосборов по сумме главных ионов с использованием критериев Стюдента (3) и Фишера (4) при уровне значимости $\alpha = 5\%$;

3) выявление регрессионных зависимостей вида

$$f(\Phi) = k_0 + \sum_{i=1}^m k_i f(Ar_i),$$

при условии: $|k_i| \geq 2\delta_k$, $|r| \geq 0.7$, где $f(\Phi)$ и $f(Ar)$ – функции от искомой величины Φ и ее аргументов; k_i и δ_k – коэффициенты регрессии и погрешности их определения, $i = 0, \dots, m$ [26, 34]:

$$\delta_A \approx \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (1)$$

$$\delta_r \approx \frac{1-r^2}{\sqrt{N-2}}, \quad (2)$$

$$Kr_S = \frac{|A(\Phi_1) - A(\Phi_2)|}{\sqrt{N_1\sigma_1^2 + N_2\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{N_1N_2(N_1 + N_2 - 2)}{(N_1 + N_2)}}, \quad (3)$$

$$Kr_F = \frac{\max(\sigma_1^2; \sigma_2^2)}{\min(\sigma_1^2; \sigma_2^2)}, \quad (4)$$

где Kr_S и Kr_F – фактические значения критериев Стюдента и Фишера; N – объем выборки; индексы 1 и 2 соответствуют произвольно выбранным номерам сравниваемых выборок, для каждой из которых рассчитаны среднее арифметическое $A(\Phi_i)$ и стандартное отклонение σ_i .

Второй этап предусматривал использование уравнений (5)–(9) при допущении отсутствия значимых изменений влагозапасов в водосборе в среднем за многолетний период:

$$P_y - E_y - Y_y = P_r + P_{sn} - E_{wp} - E_{cp} - Y_g - Y_{sf} \approx 0, \quad (5)$$

$$E_{cp} = \sum_{T_a < 0} 0.34 \cdot d_{a,i} m_i, \quad (6)$$

$$E_{wp} = (P_y - Y_y) - E_{cp} = E_y - E_{cp}, \quad (7)$$

$$Y_{g,i} = \begin{cases} Y_i, & i = (12, 1, 2, 3), \\ Y_3 + (Y_{12} - Y_3) \frac{(i-3)}{9}, & i = (4-12), \end{cases} \quad (8)$$

$$Y_{sf} = Y_y - \sum_{i=1}^{12} Y_{g,i}, \quad (9)$$

где P_y, P_r, P_{sn} – слой атмосферных осадков в целом за год, а также виде дождя и снега, соответственно, мм/год; E_y, E_{wp}, E_{cp} – слой суммарного испарения с поверхности водосбора в целом за год, в теплый (ориентировочно, по условию $T_a \geq 0^\circ\text{C}$;

T_a – среднемесячная температура приземных слоев атмосферного воздуха) и холодный период ($T_a < 0^\circ\text{C}$), мм/год; i – номер месяца; Y_y, Y_i – слой суммарного речного стока за год, мм/год, и за i -й месяц календарного года, мм/мес; Y_g, Y_{sf} – подземная и поверхностная составляющие суммарного речного стока за год, мм/год; $Y_{g,i}$ – слой подземного стока за i -й месяц календарного года, мм/мес; $d_{a,i}$ – дефицит влажности атмосферного воздуха за i -й месяц, гПа; m_i – количество суток в i -м месяце.

Слой речного стока вычислен по измеренным месячным расходам воды Q_i за период с 1970 до 2000 г., либо до завершения режимных наблюдений [28]. Данные об атмосферных осадках, температуре воздуха и дефиците влажности приняты по данным [20] с учетом требований [35] для рек Киргизка, Ушайка, Басандайка, Порос, Кисловка – по метеостанции Томск; для р. Лебяжьей – по метеостанции Болотное.

На третьем этапе использовался метод смешения в виде:

$$Q_{g2} = Q_g \frac{(S_{rw} - S_{g1})}{(S_{g2} - S_{g1})}, \quad (10)$$

$$Q_{g1} = Q_g - Q_{g2}, \quad (11)$$

где $Q_g = Y_g$ – среднегодовой расход подземных вод, рассчитанный по (8); Q_{g1} и Q_{g2} – составляющие подземного стока, соответствующие притоку грунтовых и артезианских подземных вод; для всех исследуемых рек Q_{g1} соответствует притоку из водоносных отложений четвертичного и неоген-четвертичного возраста (в случае р. Лебяжьей), а Q_{g2} – из водоносного комплекса палеогена с возможным притоком вод из отложений мела (рр. Киргизка, Порос, Кисловка) и образований каменноугольного периода (частично – рр. Киргизка и Кисловка; в значительной степени – рр. Ушайка и Басандайка); S_{rw}, S_{g1}, S_{g2} – средние значения суммы главных ионов в речных водах в зимний период, в грунтовых и артезианских подземных водах.

В расчетах использованы измеренные значения концентраций Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} в речных водах в весенний, летне-осенний и зимний периоды (границы сезонов приняты по рекомендациям Государственного гидрологического института Росгидромета: весенний – с апреля по июнь, зимний – с декабря по март, когда гарантированно устанавливается ледостав на реках и устойчивый снежный покров на водосборе), концентрации главных ионов в грунтовых и артезианских водах (разделение на грунтовые и артезианские выполнено по данным о скважинах). Основная база данных по результатам химического анализа проб сформиро-

лась по режимным и разведочным скважинам. Информация по ним принята по данным Томской геолого-разведочной экспедиции [10], АО “Томскгеомониторинг” и Сибирского регионального центра ФГБУ “Гидроспецгеология”. Сведения по отдельным пунктам, рассмотренным в ходе научных исследований, приняты по опубликованным работам [8, 9, 11, 12, 14]. По данным об измеренных концентрациях главных ионов рассчитана их сумма по срокам наблюдений, а уже по этим данным — средние значения S_{rw} , S_{g1} и S_{g2} .

Выбор именно суммы главных ионов в качестве гидрохимического показателя смещения подземных вод из разных водоносных отложений обусловлен относительной его устойчивостью к колебаниям концентраций отдельных ионов и погрешностей их определения.

Для рассматриваемой территории расчеты методом смещения проведены для годового баланса в среднем за многолетний период. Для условий конкретного года соотношение грунтовых и артезианских вод в питании рек изменчиво в течение года. Сезонные изменения в среднем за многолетний период намного меньше сезонных изменений состава речных вод [16].

Четвертый этап исследования предусматривал составление и анализ уравнения геохимического баланса водосбора в виде:

$$G_Y = S_Y Q_Y t b_1 = F(P_r S_r + P_{sn} S_{sn}) b_2 \pm \Delta G = G_r + G_{sn} \pm \Delta G, \quad (12)$$

где G_Y — годовой суммарный сток растворенных солей в замыкающем створе исследуемой реки, т/год; Q_Y — среднегодовой расход воды, м³/с; t — количество секунд в расчетном периоде (году); F — площадь водосбора, км²; S_Y , S_r , S_{sn} — средние значения суммы главных ионов в речных, дождевых и снеготалых водах; P_r , P_{sn} — то же, что в (5); ΔG — результат поступления солей из почвогрунтов, болот, хозяйственных объектов и их аккумуляции в водосборе; b_1 , b_2 — коэффициенты разности.

Положительное значение ΔG в первом приближении свидетельствует о преобладании процессов растворения и выщелачивания горных пород, а отрицательное — о преобладании аккумуляции веществ в водосборе. Значения S_Y , S_r , S_{sn} получены в результате обобщения фондовых и опубликованных данных Росгидромета, ТПУ, АО “Томскгеомониторинг”, ТГРЭ [30, 31] при тех же условиях, что и для S_{rw} , S_{g1} , S_{g2} .

В уравнении геохимического баланса в среднем для однородного периода должно быть уравновешено, однако для рассматриваемой водосборной территории уравнение баланса включает

в себя не все элементы, поскольку предполагается косвенная оценка недостающих элементов.

На заключительном, пятом этапе выполнялся статистический анализ полученных данных с учетом (1)–(4).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследуемые подземные, речные и атмосферные воды в среднем пресные, гидрокарбонатные кальциевые. Наименьшее суммарное содержание растворенных солей закономерно отмечается в атмосферных водах, наибольшее — в подземных водах, обычно — в артезианских (табл. 1). При этом необходимо отметить, что проверка на однородность по среднему и дисперсии позволила сделать вывод о статистической сопоставимости подземных вод (и грунтовых, и артезианских) по сумме главных ионов (а также по модулю суммарного водного стока) только для водосборов рек Ушайка и Басандайка (табл. 2). Для речных вод наибольшие значения суммы главных ионов (Σ), сопоставимые со значениями для подземных вод, характерны для периода ледостава.

Анализ элементов водного баланса водосборов исследуемых рек показал, что значительная часть суммарного и, особенно, поверхностного стока сформирована снеготалыми водами, а для водосборов рек Порос, Кисловка, Лебяжья — практически полностью. Это связано с тем, что, во-первых, в теплый период большая часть атмосферных осадков тратится на суммарное испарение (с привлечением влагозапасов, сформированных в период снеготаяния). Во-вторых, в водосборах левобережных притоков Томи в пределах лесостепной зоны суммарное испарение выше, чем в водосборах правобережных притоков (табл. 3). Это сказывается на абсолютных значениях стока (рис. 2) и его внутригодовой изменчивости, для оценки которой использован коэффициент вариации месячного стока $Cv(Y_m)$.

При этом необходимо отметить, что с увеличением $Cv(Y_m)$ наблюдается хорошо выраженное увеличение доли поверхностного стока и, соот-

ветственно, уменьшение доли подземного $\frac{Q_g}{Q_a}$ (%):

$$\frac{Q_g}{Q_a} = (75.02 \pm 7.03) - (33.00 \pm 4.53)Cv(Y_m); \quad r = -0.96 \pm 0.04, \quad (13)$$

где $r \pm \delta_r$ — коэффициент корреляции и погрешность его определения, оцениваемая по формуле (2). Также отмечено увеличение в подземной

составляющей вклада грунтовых вод $\frac{Q_{g1}}{Q_g}$ (%) и

Таблица 1. Среднемноголетние значения суммы главных ионов в речных и подземных водах и погрешности их определения (1), мг/дм³

№	Река — пункт	S_Y	S_{rw}	S_{g1}	S_{g2}
1	р. Киргизка — п. Кузовлево	366.4 ± 24.9	509.4 ± 64.5	460.8 ± 24.4	540.2 ± 27.2
2	р. Ушайка — п. Степановка	406.0 ± 19.9	568.0 ± 78.8	457.4 ± 25.6	572.7 ± 19.1
3	р. Басандайка — п. Басандайка	453.8 ± 25.6	497.3 ± 38.5	375.2 ± 59.0	527.9 ± 20.4
4	р. Порос — с. Зоркальцево	185.2 ± 23.1	509.2 ± 63.4	504.7 ± 32.9	535.0 ± 11.2
5	р. Кисловка — п. Тимирязево	330.3 ± 11.6	385.1 ± 22.6	223.7 ± 6.6	444.5 ± 26.7
6	р. Лебяжья — с. Безменово	502.7 ± 34.0	559.5 ± 37.8	326.9 ± 47.4	566.8 ± 67.7

Примечание: S_Y , S_{rw} , S_{g1} , S_{g2} — средние значения суммы главных ионов в речных водах в среднем за год, в зимний период, в грунтовых и артезианских подземных водах по результатам обобщения фондовых данных ТПУ и опубликованных данных [11, 17, 22, 23, 31, 32, 40]; средние значения суммы главных ионов в дождевых S_r и снеготалых S_{sn} водах приняты по фондовым материалам ТПУ и опубликованным данным [30] в целом для рассматриваемой территории: $S_r = 90.7 \pm 9.1$ мг/дм³; $S_{sn} = 21.6 \pm 2.5$ мг/дм³.

Таблица 2. Соотношения фактических (f) и критических (при уровне значимости 5%) значений критериев Стьюдента (Kr_S) и Фишера (Kr_F) при сравнении данных о сумме главных ионов в грунтовых и артезианских подземных вод в водосборах притоков Томи и модулей суммарного водного стока

Сравниваемые водосборы		Критерий	Сумма главных ионов		Модуль суммарного стока
			Грунтовые воды	Артезианские воды	
Киргизка	Ушайка	$Kr_S(f)/Kr_S(5\%)$	0.05	0.48	0.06
		$Kr_F(f)/Kr_F(5\%)$	0.40	1.09	0.28
Киргизка	Басандайка	$Kr_S(f)/Kr_S(5\%)$	0.74	0.17	0.20
		$Kr_F(f)/Kr_F(5\%)$	0.79	1.11	0.44
Басандайка	Ушайка	$Kr_S(f)/Kr_S(5\%)$	0.70	0.79	0.28
		$Kr_F(f)/Kr_F(5\%)$	0.75	0.48	0.54
Порос	Кисловка	$Kr_S(f)/Kr_S(5\%)$	4.65	1.68	1.68
		$Kr_F(f)/Kr_F(5\%)$	0.57	0.60	0.92
Порос	Лебяжья	$Kr_S(f)/Kr_S(5\%)$	1.40	0.39	2.45
		$Kr_F(f)/Kr_F(5\%)$	0.34	1.71	1.36
Лебяжья	Кисловка	$Kr_S(f)/Kr_S(5\%)$	1.43	0.90	0.90
		$Kr_F(f)/Kr_F(5\%)$	0.73	0.93	0.64
(Ушайка—Басандайка)	(Кисловка—Лебяжья)	$Kr_S(f)/Kr_S(5\%)$	—	—	6.21
		$Kr_F(f)/Kr_F(5\%)$	—	—	2.72

Примечание: расчет фактических значений критериев Стьюдента и Фишера по формулам (3, 4); при отношении $Kr(f)/Kr(5\%) > 1$ гипотеза однородности выборочных средних и дисперсий отвергается с уровнем значимости 5%.

снижение вклада напорных $\frac{Q_{g2}}{Q_g}$ (%), что, видимо, объясняется ухудшением условий поступления подземных вод из более глубоких горизонтов при уменьшении общего подземного стока:

$$\frac{Q_{g1}}{Q_g} = (43.25 \pm 18.44) + (25.73 \pm 11.88)Cv(Y_m); \quad r = 0.73 \pm 0.23, \quad (14)$$

$$\frac{Q_{g2}}{Q_g} = (56.75 \pm 18.44) - (25.73 \pm 11.88)Cv(Y_m); \quad r = -0.73 \pm 0.23. \quad (15)$$

Одновременно с увеличением $Cv(Y_m)$, уменьшением подземной составляющей и вклада напорных вод возрастают значения суммы главных ионов в речных водах в зимний период и подземных напорных водах (см. табл. 3).

Таблица 3. Среднегодовые значения элементов водного баланса водосборов рек Большая Киргизка, Ушайка, Басандайка, Порос, Кисловка, Лебяжья и суммы главных ионов в речных, подземных и атмосферных водах

Река – пункт	F	Q_a	$Cv(Y)$	Q_g/Q_a	Q_{g1}/Q_g	Q_{g2}/Q_g	Y_g	Y_{sf}	E_y	$E_{\geq 0}$	$(P-E)_{\geq 0}$	$(P-E)_{< 0}$
	км ²	м ³ /с	—	%			мм/год					
р. Киргизка – п. Кузовлево	825	5.14	1.32	36	61	39	70	126	395	366	40	156
р. Ушайка – п. Степановка	713	4.25	1.67	16	96	4	30	158	403	374	32	156
р. Басандайка – п. Басандайка	402	2.61	1.47	23	80	20	47	158	386	358	48	156
р. Порос – с. Зоркальцево	316	0.45	1.31	30	85	15	13	32	546	517	–111	156
р. Кисловка – п. Тимирязево	458	0.75	1.08	42	73	27	22	30	539	510	–104	156
р. Лебяжья – с. Безменово	1390	3.57	2.21	5	97	3	4	77	445	420	–48	129

Примечание: F – площадь водосбора; Q_a – среднегодовой расход воды; $Cv(Y)$ – коэффициент вариации месячного стока; Q_g/Q_a – подземная составляющая среднегодового расхода воды; Q_{g1}/Q_g и Q_{g2}/Q_g – доля грунтовых и напорных вод в подземном стоке; Y_g и Y_{sf} – подземная и поверхностная составляющие слоя годового водного стока; E_y и $E_{\geq 0}$ – суммарное испарение за год и теплый период; $(P-E)_{\geq 0}$ и $(P-E)_{< 0}$ – разность между атмосферным увлажнением и испарением в теплый и холодный периоды.

Это указывает на обратную зависимость общего содержания растворенных солей от интенсивности водообмена, которая в рассматриваемых условиях (избыточная или нормальная увлажненность территории) связана с долей подземного стока $\frac{Q_g}{Q_a}$: чем она больше – тем выше связь различных водоносных горизонтов и поверхностных водных объектов.

Напротив, при снижении величины $\frac{Q_g}{Q_a}$ возрастает “закрытость” глубоких водоносных горизонтов, увеличивается время взаимодействия вод этих горизонтов с горными породами и, соответственно, увеличивается сумма главных ионов в артезианских подземных водах S_{g2} :

$$S_{g2} = (146.58 \pm 48.35) - (0.23 \pm 0.09) \frac{Q_g}{Q_a}; \quad r = -0.78 \pm 0.19; \quad (16)$$

$$S_{g2} = (402.21 \pm 62.31) + (85.46 \pm 40.16) Cv(Y_m); \quad r = 0.73 \pm 0.23. \quad (17)$$

Интересная особенность выявлена в структуре геохимического баланса – для водосборов левых притоков Томи (Порос, Кисловка, Лебяжья) величина ΔG в уравнении (12) значительно меньше, чем для правых притоков (Киргизка, Ушайка, Басандайка), причем положительные значения ΔG отмечены при слое поверхностного стока $Y_{sf} > 63$ мм/год и отрицательных значениях величины $(P-E)_{\geq 0}$ (рис. 3, табл. 3, 4).

Отрицательные значения ΔG можно интерпретировать как общее преобладание в левобережной части водосбора Томи на участке ее нижнего

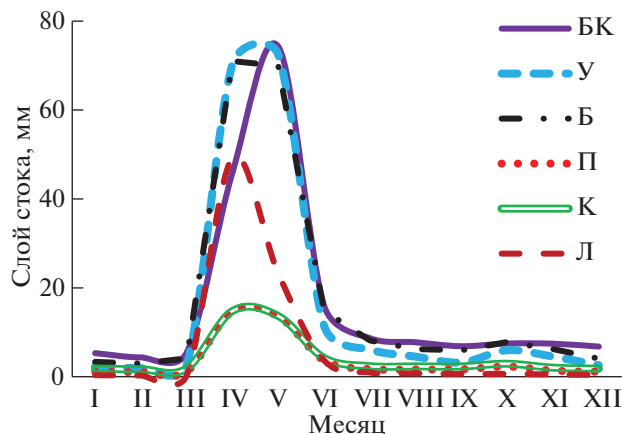


Рис. 2. Внутригодовое изменение месячного слоя стока рек Киргизка (Большая Киргизка – БК), Ушайка (У), Басандайка (Б), Порос (П), Кисловка (К) и Лебяжья (Л) в среднем за многолетний период.

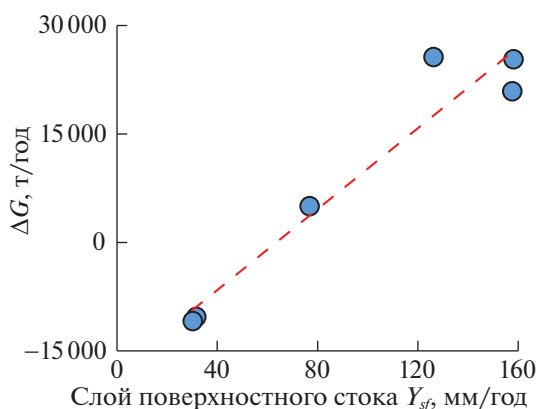


Рис. 3. Соотношение между величиной ΔG и слоем поверхностного стока Y_{sf} в водосборах притоков Томи на участке ее нижнего течения.

Таблица 4. Среднемноголетние значения элементов водного баланса водосборов рек Киргизка, Ушайка, Басандайка, Порос, Кисловка, Лебяжья, т/год

Река – пункт	G_r	G_{sn}	G_{Ysum}	G_{Yg}	G_{Ysf}	ΔG
р. Киргизка – п. Кузовлево	30380	3297	59345	29421	29923	25668
р. Ушайка – п. Степановка	26256	2849	54448	12111	42337	25343
р. Басандайка – п. Басандайка	14803	1606	37337	9386	27951	20927
р. Порос – с. Зоркальцево	11636	1263	2635	2161	474	–10264
р. Кисловка – п. Тимирязево	16865	1830	7851	3830	4021	–10845
р. Лебяжья – с. Безменово	46899	4624	56544	3202	53342	5021

Примечание: G_r и G_{sn} – поступление растворенных солей в водосбор с дождевыми и снеготалыми водами; G_{Ysum} , G_{Yg} , G_{Ysf} – суммарный сток растворенных солей в замыкающем створе реки, его подземная и поверхностная составляющие; ΔG – результат растворения и выщелачивания горных пород и аккумуляции веществ в водосборе.

течения процессов аккумуляции веществ, поступающих с атмосферными осадками. Напротив, положительные значения ΔG в водосборах рек Киргизка, Ушайка и Басандайка, видимо, свидетельствуют о более значительной роли процессов выщелачивания и растворения горных пород на фоне значимого пополнения влагозапасов в теплый период, при котором происходит не только пополнение ресурсов подземных вод, но и формирование поверхностного стока.

При этом необходимо отметить, что в правобережной северной части водосбора Томи расположен ряд рудопроявлений и месторождений твердых полезных ископаемых с присутствием в составе грунтов редкоземельных элементов (РЗЭ). В левобережной северной части водосбора Томи рудопроявления не отмечены, но выявлено присутствие РЗЭ в подземных водах и отложениях, сформированных в процессе обезжелезивания подземных вод Обь-Томского междуречья (включая водосборы рек Кисловка и Порос) [7, 21–23, 36]. Можно предположить, что примерно такой же механизм функционировал и в предыдущие геологические периоды, в том числе в периоды с отличной от современной гидрографической сетью [18]. Вследствие этого сформированы геохимические ореолы с центрами в северной части Колывань-Томской складчатой зоны и, возможно, северной части Кузнецкого Алатау.

Горизонтальные проекции этих ореолов в целом сопоставимы с полученными в ТПУ выводами о закономерностях трансформации минерального и химического состава донных отложений рек Северной и юго-Восточной Азии:

1) основные изменения минерального состава донных отложений связаны с возрастанием доли кварца от истоков к устьям рек протяженностью более 11 км и снижением вклада минералов, для которых логарифм произведения плотности и твердости не превышает 1.27;

2) участки рек с условно однородным минеральным составом донных отложений смещены

(ниже по течению) относительно участков с условно однородным (или слабо меняющимся в многолетнем разрезе) химическим составом речных вод до 100 км [32].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере шести малых рек – притоков р. Томь (второй крупнейший приток Оби, Западная Сибирь) – подтверждены известные выводы о том, что при снижении интенсивности водообмена увеличивается время взаимодействия в системе вода – порода и, соответственно, суммарное содержание в подземных водах растворенных солей [5, 13, 39].

При этом впервые для участка нижнего течения Томи показано, что, во-первых, степень взаимосвязанности речных, подземных грунтовых и артезианских вод может быть оценена с помощью коэффициента вариации $Cv(Y_m)$ месячных значений слоя стока малых рек – чем больше значение $Cv(Y_m)$, тем больше “закрытость” глубоких водоносных горизонтов и минерализация подземных вод.

Во-вторых, для территорий со значительным пополнением влагозапасов в теплый период года, при котором формируется не только подземный, но и поверхностный сток, преобладают процессы выщелачивания и растворения горных пород по сравнению с аккумуляцией солей, поступающих на водосбор с атмосферными осадками.

Для территорий, в пределах которых пополнение ресурсов подземных вод связано в основном в период снеготаяния, при формировании химического состава подземных вод более значительную роль играют процессы поступления веществ извне, что целесообразно учитывать при проектировании зон санитарной охраны подземных водозаборов и контроле хозяйственной деятельности в пределах области питания подземных вод.

В-третьих, по комплексу геохимических, гидрологических и гидрогеологических показателей

на территории водосбора Томи на участке ее нижнего течения (в пределах Томской области) и с учетом ранее выполненных исследований [9, 11, 12, 24, 31, 40] можно выделить три района по минерализации и химическому составу грунтовых и артезианских вод, их связи с речными водами:

1) правобережье Томи от границы Томской и Кемеровской областей до водораздела рек Ушайка и Киргизка (ориентировочно — Иркутский тракт в черте г. Томска);

2) правобережье к северу от водосбора Киргизки (включительно);

3) левобережье Томи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (18-55-80015) и Программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балобаненко А.А. Геохимические особенности подземных вод хозяйственно-питьевого назначения юга Западно-Сибирского артезианского бассейна: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Томск: Томский политехн. ун-т, 2018. 22 с.
2. Гидрогеология СССР. Т. 16. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / Под ред. В. А. Нуднера. М.: Недра, 1970. 368 с.
3. Гидрогеология СССР. Т. 17. Кемеровская область и Алтайский край. М.: Недра, 1972. 398 с.
4. Гудымович С.С., Рычкова И.В., Рябчикова Э.Д. Геологическое строение окрестностей г. Томска (территории прохождения геологической практики). Томск: Томский политехн. ун-т, 2009. 84 с.
5. Гусева Н.В. Механизмы формирования химического состава природных вод в различных ландшафтно-климатических зонах горно-складчатых областей центральной Евразии: автореф. дис. ... док. геол.-мин. наук. Томск: Томский политехн. ун-т, 2018. 43 с.
6. Гриневский С.О. Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод. М.: Инфра-М, 2019. 152 с.
7. Домаренко В.А., Савичев О.Г., Перегудина Е.В., Лепокурова О.Е., Вильгельм Е.А. Вещественный состав донных отложений реки Омутная в пределах Туганского россыпного узла (Томская область) // Разведка и охрана недр. 2020. № 4. С. 48–53.
8. Дутова Е.М., Вологодина И.В., Покровский Д.С., Замировская Л.В. Изменение гидрогеохимических условий при эксплуатации Академического месторождения // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 312. № 1. С. 59–63.
9. Дутова Е.М., Наливайко Н.Г. Особенности химического и микробиологического состава подземных вод территории города Томска // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2011. № 5. С. 56–61.
10. Ермашова Н.А. Природный гидрогеохимический фон верхней гидродинамической зоны Среднего Приобья как основа оценки ее экологического состояния // Обской вестник. 1999. № 3–4. С. 106–112.
11. Колоколова О.В. Геохимия подземных вод района Томского водозабора: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Томск: Томский политехн. ун-т, 2003. 21 с.
12. Колубаева Ю.В., Шварцев С.Л., Копылова Ю.Г. Геохимия вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2010. № 2. С. 50–58.
13. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеиц В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
14. Лепокурова О.Е., Иванова И.С., Шварцев С.Л., Колубаева Ю.В., Наливайко Н.Г. Химический и микробиологический состав подземных вод децентрализованного водоснабжения южных и центральных районов Томской области // Известия Томский политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 5. С. 29–41.
15. Лисецкий В.Н., Брюханцев В.Н., Андрейченко А.А. Улавливание и утилизация осадков водоподготовки на водозаборах г. Томска. Томск: Изд-во НТЛ, 2003. 164 с.
16. Льготин В.А., Савичев О.Г., Макушин Ю.В., Камнева О.А. Долгосрочная изменчивость химического состава подземных вод Томской области // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 74–79.
17. Льготин В.А., Савичев О.Г., Нигороженко В.Я. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2000–2005 гг. Томск: АГРАФ-ПРЕСС, 2006. 88 с.
18. Малолетко А.М. Эволюция речных систем Западной Сибири в мезозое и кайнозое. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2008. 288 с.
19. Мананков А.В., Парначев В.П. Геоэкологические аспекты состояния поверхностных и подземных вод г. Томска // Обский вестник. 1999. № 1–2. С. 105–116.
20. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6, Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. 718 с.
21. Недра России. Т. 1. Полезные ископаемые / Под ред. Н.В. Межеловского и А.А. Смыслова. СПб.-М.: Горн. ин-т, Межрегион. центр по геол. картографии, 2001. 547 с.
22. Пасечник Е.Ю., Гусева Н.В., Савичев О.Г., Льготин В.А. и др. Микроэлементный состав подземных вод верхней гидродинамической зоны в бассейне Верхней Оби как фактор формирования их эколого-геохимического состояния // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 4. С. 54–63. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/4/2593>
23. Пасечник Е.Ю., Савичев О.Г., Домаренко В.А., Владимирова О.Н. Редкоземельные элементы в по-

- верхностных и подземных водах верхней гидрогеодинамической зоны в бассейне Верхней и Средней Оби (Западная Сибирь) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2020. Т. 32. С. 113–127.
24. Пасечник Е.Ю. Эколого-геохимическое состояние природных сред территории города Томска // Вестник Томск. гос. ун-та. 2008. № 306. С. 149–154.
 25. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Гидрогеологические проблемы строительного освоения территории Томска // Обский вестник. 1999. № 1–2. С. 96–104.
 26. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 448 с.
 27. Раткович Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения. М.: Наука, 2003. 352 с.
 28. Региональная электронная гидрографическая сеть для арктического региона. URL: <http://www.r-arc-ticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html>.
 29. Рогов Г.М., Попов В.К., Осипова Е.Ю. Проблемы использования природных вод бассейна реки Томи для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Томск: Изд-во Томск. гос. архит.-строит. ун-та, 2003. 218 с.
 30. Савичев О.Г., Иванов А.О. Атмосферные выпадения в бассейне Средней Оби и их влияние на гидрохимический сток рек // Известия РАН. Серия географическая. 2010. № 1. С. 63–70.
 31. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. Томск: Томск. политехн. ун-т, 2010. 248 с.
 32. Савичев О.Г., Домаренко В.А., Перегудина Е.В., Лепкурова О.Е. Трансформация минерального состава донных отложений от истоков к устьям рек // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 7. С. 43–56.
 33. Состояние геологической среды (недр) на территории Сибирского федерального округа в 2017 г. Информационный бюллетень. Томск: Филиал “Сибирский региональный центр ГМСН”, ФГБУ “Гидроспецгеология”, 2018. Вып. 14. 178 с.
 34. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 72 с.
URL: <http://sniprf.ru/sp33-101-2003>
 35. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. Дата введения 2019-05-29. М.: Стандартинформ, 2019. 153 с.
URL: <http://base.garant.ru/72239302>
 36. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Под ред. Е.Н. Трибунского, М.С. Паровинчака. Кемерово: ООО “Сапс”, 2001. 214 с.
 37. Черепанский М.М. Региональные гидрогеологические прогнозы влияния отбора подземных вод на речной сток: автореф. дис. ... док. геол.-мин. наук. М.: НИА-Природа, Рос. гос. геологоразвед. ун-т, 2007. 49 с.
 38. Янкович Е.П., Копылова Ю.Г., Гусева Н.В. Распространенность геохимических типов подземных вод Обь-Томского междуречья // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского аграрного университета. 2015. № 107 (03).
URL: <http://ej.kubargo.ru/2015/03/pdf/96.pdf>
 39. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in main landscape zones of the earth // Geochem. International. 2008. V. 46. N 13. P. 1285–1398.
 40. Shvartsev S.L., Serebrennikova O.V., Zdvizhkov M.A., Savichev O.G., Naimushina O.S. Geochemistry of wetland waters from the lower Tom basin, Southern Tomsk oblast // Geochemistry International. 2012. V. 50. N 4. P. 367–380.
<https://doi.org/10.1134/S0016702912040076>

INTERRELATION BETWEEN RIVER AND GROUNDWATER IN THE LOWER REACHES OF THE TOM RIVER (TOMSK OBLAST, THE RUSSIAN FEDERATION)

O. N. Vladimirova^{a, #} and O. G. Savichev^{a, ##}

^a National Research Tomsk Polytechnic University, Engineering School for Natural Resources,
pr. Lenina 30, Tomsk, 634050 Russia

[#]E-mail: onv-2018@yandex.ru

^{##}E-mail: OSavichev@mail.ru

The paper presents the results of studies in assessing the protection of groundwater used for water supply in Tomsk and the Tomsk region, and revealing the relationship between the chemical composition and flow of groundwater and river water. The underground and river water in the reservoirs of the small tributaries of the Tom River in the area of its lower course, i.e., its right-bank tributaries – Kirghiz (Big Kirghiz), Ushaika, and Basandaika rivers; and left-bank tributaries – Poros, Kislovka, and Lebyazhya rivers were the objects of research. The analysis of the interconnection between the amount and composition of atmospheric, river and ground water is carried out in the catchments of six small tributaries of the river Tom near Tomsk according to the long-term hydrogeological and hydrological observations (that lasted from the 1970s till 2019). With a decrease in the intensity of water exchange, the interaction time in the “water – rock” system increases and, accordingly, the total content of dissolved salts in groundwater increases. For the first time for the section of the lower course of the river Tom it is found out that the interconnection between river water, groundwater

and artesian water can be estimated using the variation coefficient C_v (Y_m) of monthly values of the runoff layer of small rivers: the higher C_v (Y_m) value is, the better deep aquifers are isolated and the higher mineralization of groundwater is. For territories with a significant replenishment of moisture reserves in the warm season (in the right-bank part of the Tom River catchment area), leaching and dissolution of rocks prevail; and for territories with a predominant replenishment of groundwater resources during snowmelt (in the left-bank part of the Tom River basin), the substances coming from outside, including atmospheric precipitation, play a more significant role.

Keywords: water balance, geochemical balance, interrelation between river and groundwater, Altai-Sayan folded area, West Siberian artesian basin, the Tom River tributaries, Tomsk

REFERENCES

- Balobanenko A.A. *Geokhimicheskie osobennosti podzemnykh vod khozyaistvenno-pit'evogo naznacheniya yuga Zapadno-Sibirskogo artziyanskogo basseina* [Geochemical features of groundwater for household and drinking purposes in the south of the West Siberian artesian basin]. Extended abstract Cand. Sci. (Geol.-Min.) Diss. Tomsk, Tomsk Polytechnic Univ., 2018, 22 p. (in Russian)
- Gidrogeologiya SSSR. T. 16. Zapadno-Sibirskaya ravnina* (Tyumenskaya, Omskaya, Novosibirskaya i Tomskaya oblasti). [Hydrogeology of the USSR. Vol. 16. The West Siberian Plain (Tyumen, Omsk, Novosibirsk and Tomsk regions)]. Nudner, V.A. (ed.), Moscow, Nedra Publ., 1970. 368 p. (in Russian)
- Gidrogeologiya SSSR. T. 17. Kemerovskaya oblast i Altayskii kraj* [Hydrogeology of the USSR. Vol. 17. Kemerovo region and Altai kraj]. Moscow, Nedra Publ., 1972, 398 p. (in Russian)
- Gudymovich, S.S., Rychkova, I.V., Ryabchikova, E.D. *Geologicheskoe stroenie okrestnostei g. Tomsk (territorii prokhozhdeniya geologicheskoi praktiki)*. [The geological structure of the Tomsk city surroundings (geological field practice area)]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2009, 84 p. (in Russian)
- Guseva, N.V. *Mekhanizmy formirovaniya khimicheskogo sostava prirodnykh vod v razlichnykh landshaftno-klimaticheskikh zonakh gorno-skladchatykh oblastei tsentral'noi Evrazii* [The formation mechanisms of natural water chemical composition in various landscapes and climatic zones of orogenic areas in central Eurasia]. Extended abstract Doctoral (Geol.-Min.) Diss. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2018, 43 p. (in Russian)
- Grinevskii, S.O. *Gidrogeodinamicheskoe modelirovanie vzaimodeistviya podzemnykh i poverkhnostnykh vod* [Hydrogeodynamic modeling of the interaction between groundwater and surface water]. Moscow, Infra-M Publ., 2019, 152 p. (in Russian)
- Domarenko, V.A., Savichev, O.G., Peregudina, E.V., Lepokurova, O.E., Vil'gel'm, E.A. *Veshchestvennyi sostav donnykh otlozhenii reki Omutnaya v predelakh Tuganskogo rossypnogo uzla (Tomskaya oblast')* [The material composition of bottom sediments of the Omutnaya River within the Tugan placer deposit (Tomsk region)]. *Razvedka i okhrana neдр*, 2020, no. 4, pp. 48–53. (in Russian)
- Dutova, E.M., Vologdina, I.V., Pokrovskii, D.S., Zamorovskaya, L.V. *Izmenenie gidrogeokhimicheskikh uslovii pri ekspluatatsii akademicheskogo mestorozhdeniya* [Change in hydrogeochemical conditions during the operation of an academic field]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2008, vol. 312, no. 1, pp. 59–63. (in Russian)
- Dutova, E.M., Nalivaiko, N.G. *Osobennosti khimicheskogo i mikrobiologicheskogo sostava podzemnykh vod territorii goroda Tomsk* [Features of the chemical and microbiological composition of groundwater in the territory of the Tomsk city]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2011, no. 5, pp. 56–61. (in Russian)
- Ermashova, N.A. *Prirodnyi gidrogeokhimicheskii fon verkhnei gidrodinamicheskoi zony Srednego Priob'ya kak osnova otsenki yekologicheskogo sostoyaniya* [Natural hydrogeochemical background of the upper hydrodynamic zone of the Middle Ob region as the basis for assessing its ecological state]. *Obshchiy vestnik*, 1999, no. 3–4, pp. 106–112. (in Russian)
- Kolokolova, O.V. *Geokhimiya podzemnykh vod raiona Tomskogo vodozabara*. [Groundwater geochemistry of the Tomsk water intake area:] Extended abstract Cand. Sci. (Geol.-Min.) Diss. Tomsk, Tomsk Polytechnic Univ., 2003, 21 p. (in Russian)
- Kolubaeva, Yu.V., Shvartsev, S.L., Kopylova, Yu.G. *Geokhimiya vod severnoi chasti Kolyvan'-Tomskoi skladchatoi zon* [Geochemistry of water in the northern part of the Kolyvan-Tomsk folded zone]. *Geologiya i razvedka*, 2010, no. 2, pp. 50–58. (in Russian)
- Krainov, S.R., Ryzhenko, B.N., Shvets, V.M. *Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty* [Groundwater geochemistry. Theoretical, applied and ecological aspects]. Laverov, N.P., Ed. Moscow, Nauka Publ., 2004, 677 p. (in Russian)
- Lepokurova, O.E., Ivanova, I.S., Shvartsev, S.L., Kolubaeva, Yu.V., Nalivaiko, N.G. *Khimiya i mikrobiologicheskii sostav podzemnykh vod deentralizovannogo vodopodabzheniya yuzhnykh i tsentral'nykh raionov Tomskoi oblasti*. [The chemical and microbiological composition of groundwater in decentralized water supply in the southern and central regions of the Tomsk region]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2016, vol. 327, no. 5, pp. 29–41. (in Russian)
- Lisetskii, V.N., Bryukhantsev, V.N., Andreichenko, A.A. *Upravlyanie i utilizatsiya osadkov vodozabara na vodozabara g. Tomsk* [Collection and disposal of water treatment sludge at Tomsk water intakes]. Tomsk, NTL Pub., 2003, 164 p. (in Russian)
- L'gotin, V.A., Savichev, O.G., Makushin, Yu.V., Kameneva, O.A. *Dolgosrochnaya izmenchivost' khimicheskogo sostava podzemnykh vod Tomskoi oblasti* [Long-term variability of chemical composition of groundwater in the Tomsk region]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2012, no. 1, pp. 74–79. (in Russian)
- L'gotin, V.A., Savichev, O.G., Nigorozenko, V.Ya. *Sostoyanie poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov, vodozabara khozyaistvennykh sistem i sooruzhenii na territorii Tomskoi*

- oblasti v 2000–2005 gg. [The state of surface water bodies, water management systems and structures in the Tomsk region in 2000–2005]. Tomsk, OAO “Tomsk-geomonitoring”, “AGRAF-PRESS”, 2006, no. 88, 112 p. (in Russian)
18. Maloletko, A.M. *Evolutsiya rechnykh sistem Zapadnoi Sibiri v mezozoe i kainozoye* [The evolution of river systems in Western Siberia in Mesozoic and Cenozoic]. Tomsk, Tomsk State Univ. Publ., 2008, 288 p. (in Russian)
 19. Manankov, A.V., Parnachev, V.P. *Geoekologicheskie aspekty sostoyaniya poverkhnostnykh i podzemnykh vod g. Tomsk* [Geoecological aspects of the state of surface and groundwater in Tomsk]. *Obskoi vestnik*, 1999, no. 1–2, pp. 105–116. (in Russian)
 20. *Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1–6, Vyp. 20. Tomskaya, Novosibirskaya, Kemerovskaya oblasti, Altaiskii krai*. [Scientific and applied reference on the USSR climate. Series 3. Perennial data. Parts 1–6, vol. 20. Tomsk, Novosibirsk, Kemerovo regions, Altai krai]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 1993, 718 p. (in Russian)
 21. *Nedra Rossii* [Bowels of Russia]. Vol. 1. Minerals. Mezhelevskii, N.V., Smyslov, A. A., Eds., St. Petersburg, Moscow, Mining Institute, Mezhrregion. Tsentr po geol. kartografii Publ., 2001, 547 p. (in Russian)
 22. Pasechnik, E.Yu., Guseva, N.V., Savichev, O.G., L’gotin, V.A., et al. [The microelement composition of groundwater in the upper hydrogeodynamic zone in the Upper Ob basin as a factor in the formation of their ecological and geochemical state]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo-Resource Engineering*. 2020, vol. 331, no. 4, pp. 54–63. doi: 10.18799/24131830/2020/4/2593
 23. Pasechnik, E.Yu., Savichev, O.G., Domarenko, V.A., Vladimirova, O.N. *Redkozemel’nye elementy v poverkhnostnykh i podzemnykh vodakh verkhnei gidrogeodinamicheskoi zony v basseine Verkhnei i Srednei Obi (Zapadnaya Sibir’)*. [Rare earth elements in the surface and groundwater of the upper hydrogeodynamic zone in the basin of the Upper and Middle Ob (Western Siberia)]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*. 2020, vol. 32, pp. 113–127. (in Russian)
 24. Pasechnik, E.Yu. *Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie prirodykh sred territorii goroda Tomsk*. [Ecological and geochemical state of natural environment in Tomsk city]. *Vestnik Tomsk. gos. un-ta*. 2008, vol. 306, pp. 149–154. (in Russian)
 25. Pokrovskii, D.S., Kuzevanov, K.I. *Gidrogeologicheskie problemy stroitel’nogo osvoeniya territorii Tomsk* [Hydrogeological problems of the construction development of the Tomsk territory]. *Obskoi vestnik*, 1999, no. 1–2, pp. 96–104. (in Russian)
 26. *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [A guide to determining the estimated hydrological characteristics]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1984, 448 p. (in Russian)
 27. Ratkovich, D.Ya. *Aktual’nye problemy vodoobespecheniya* [Actual problems of water supply]. Moscow, Nauka Publ., 2003, 352 p. (in Russian)
 28. Rogov, G.M., Popov, V.K., Osipova, E.Yu. *Problemy ispol’zovaniya prirodnnykh vod basseina reki Tomi dlya khozyaistvenno-pit’evogo vodosnabzheniya* [Problems of using natural water of the Tom River basin for drinking water supply]. Tomsk, Tomsk State Architecture and Construction University Publ., 2003. 218 p. (in Russian)
 29. *Regional’naya elektronnyaya gidrograficheskaya set’ dlya arkticheskogo regiona* [A regional electronic hydrographic data network for the Arctic region]. Available at: <http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu/v4.0/index.html>
 30. Savichev, O.G., Ivanov, A.O. *Atmosfernye vypadeniya v basseine Sredney Obi i ikh vliyanie na gidrokhimicheskii stok rek* [Atmospheric precipitation in the Middle Ob River basin and their influence on the hydrochemical flow of rivers]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 2010, no. 1, pp. 63–70. (in Russian)
 31. Savichev, O.G. *Vodnye resursy Tomskoi oblasti* [Water resources in the Tomsk region]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2010, 248 p. (in Russian)
 32. Savichev, O.G., Domarenko, V.A., Peregudina, E.V., Lepokurova, O.E. *Transformatsiya mineral’nogo sostava donnykh otlozhenii ot istokov k ust’yam rek* [Transformation of the mineral composition of bottom sediments from sources to river mouths]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2018, vol. 329, no. 7, pp. 43–56. (in Russian)
 33. *Sostoyanie geologicheskoi sredy (nedr) na territorii Sibirskogo federal’nogo okruga v 2017 g. Informatsionnyi byulleten’* [Condition of geological environment (bowels) in the Siberian Federal okrug in 2017. News bulletin]. Tomsk, Filial “Sibirskii regional’nyi tsentr GMSN”, FGBU “Gidrospektogeologiya”, 2018, vol. 14, 178 p. (in Russian)
 34. SP 33-1010-2003. *Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Code of Rules 33-1010-2003. Determination of the main calculated hydrological characteristics]. Moscow, Gosstroy of Russia Publ., 2004. 72 p. URL: <http://sniprf.ru/sp33-101-2003>. (in Russian)
 35. SP 131.13330.2018. *Stroitel’naya klimatologiya*. [Building climatology]. Moscow, Standartinform, 2019, 153 p. URL: <http://base.garant.ru/72239302>. (in Russian)
 36. *Tsirkon-il’menitovye rossypnye mestorozhdeniya kak potentsialnyi istochnik razvitiya Zapadno-Sibirskogo regiona* [Zircon-ilmenite placer deposits as potential development source of the West Siberian region]. Tribunskii, E.N., Parovinchak, M.S., Eds., Kemerovo, OOO “Sars” Publ., 2001, 214 p. (in Russian)
 37. Cherepanskii, M.M. *Regional’nye gidrogeologicheskie prognozy vliyaniya otbora podzemnykh vod na rechnoi stok* [Regional hydrogeological forecasts of the effect of groundwater withdrawal on river flow]. Extended abstract Doctoral (Geol.-Min.) Diss. Moscow, NIA-Priroda, 2007, 49 p. (in Russian)
 38. Yankovich, E.P., Kopylova, Yu.G., Guseva, N.V. *Rasprostranennost’ geokhimicheskikh tipov podzemnykh vod Ob’-Tomskogo mezhdurech’ya* [The prevalence of geochemical types of groundwater in the Ob-Tomsk interfluve]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi zhurnal Kubanskogo agrarnogo universiteta*. 2015, no. 107 (03). URL: <http://ej.kubargo.ru/2015/03/pdf/96.pdf>. (in Russian)
 39. Shvartsev, S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the Earth. *Geochemistry International*, 2008, vol. 46, is. 13, pp. 1285–1398.
 40. Shvartsev, S.L., Serebrennikova, O.V., Zdvizhkov, M.A., Savichev, O.G., Naimushina O.S. Geochemistry of wetland waters from the lower Tom basin, Southern Tomsk oblast. *Geochemistry International*, 2012, vol. 50, is. 4, pp. 367–380. DOI: 10.1134/S0016702912040076.