

---

---

**ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ  
И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

---

---

УДК 556.3

**ПОДЗЕМНЫЙ СТОК ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО  
МЕЖДУРЕЧЬЯ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА р. ЧАЯ)**

© 2016 г. Ю. А. Харанжевская

ФГБНУ “Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа”,  
ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050 Россия. E-mail: kharan@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.03.2015 г.

Выполнена оценка подземного стока в бассейне р. Чая, исследованы особенности его формирования в условиях широкого распространения болот, проведен сравнительный анализ различных способов его определения, изучены тенденции многолетних изменений. По результатам исследований получено, что объективным способом расчета подземного стока при наличии данных могут считаться методы, построенные на определении подземного стока с учетом динамики уровней грунтовых вод, которые являются дальнейшим развитием метода генетического расчленения гидрографа реки с использованием элементов гидродинамического метода. Отмечено, что заболоченность способствует снижению подземного стока за счет уменьшения эрозионной расчлененности территории и перераспределения участков питания подземных вод глубоких водоносных горизонтов. Статистический анализ позволил отметить существенное (более чем на 20%) увеличение в последние два–четыре десятилетия среднегодовых расходов подземного стока, а также уровней грунтовых вод. Увеличение подземного стока предположительно связано с внутригодовым перераспределением стока рек и смещением границ гидрологических сезонов в сторону более позднего начала зимней межени и более ранних сроков начала снеготаяния.

***Ключевые слова:** подземный сток, расчет, условия формирования, оценка, болота, влияние, тенденции.*

### ВВЕДЕНИЕ

Последнее время в связи с все возрастающей нехваткой качественной питьевой воды особую актуальность приобретают исследования по оценке ресурсов поверхностных и подземных вод, а также механизмов их взаимодействия с учетом возможных изменений водного режима речных бассейнов под влиянием хозяйственной деятельности и современных природно-климатических изменений. Существующий дефицит достоверной информации о гидрогеологических условиях и тенденциях их изменений негативно сказывается на процессе управления водными ресурсами регионов и в целом ухудшает уровень их социально-экономического развития. В настоящее время данной проблеме посвящено большое количество работ, включая крупные обобщения, выполненные в последние годы И.С. Зекцером, Р.Г. Джамаловым, В.С. Ковалевским, В.П. Зверевым, И.А. Шикломановым и др. [7, 8, 10, 11, 17, 18, 42–45]. Актуально решение такого рода проблем и на территории Западной Сибири, где

велико влияние болот на водный баланс и режим водосборов, на химический состав речных и подземных вод. Обобщенные данные по подземным водам территории юга Западной Сибири приведены в ряде крупных работ [6, 30, 42–43], оценка подземного стока проводилась В.А. Всеволожским [4, 5], общие закономерности формирования подземного стока рассмотрены в работах [1, 2, 9, 13 и др.]. Среди последних исследований, посвященных изучению подземной составляющей стока рек данной территории, следует отметить работы О.Г. Савичева, В.А. Льготина, Ю.В. Макушина, В.К. Попова, Р.Г. Рогова, О.А. Камневой [16, 21, 22, 26, 31, 33–37], в которых проводится анализ тенденций многолетних изменений расходов подземного стока, химического состава, температуры и уровней подземных вод, выполнена оценка ресурсов, качества, эколого-экономических аспектов эксплуатации вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Однако, во-первых, до сих пор не решен вопрос о величине подземного стока и соотношениях поверхностного и подземного стока на исключительно заболочен-

Таблица 1. Характеристика бассейна р. Чая

| Река – пункт               | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> | Заболоченность водосбора*, % | Доля верховых болот от площади болот, % |
|----------------------------|------------------------------------|------------------------------|---|
| р. Чая – с. Подгорное      | 25000                              | 52/35                        | 50                                      |
| р. Бакчар – с. Горелый     | 6610                               | 63/40                        | 66                                      |
| р. Бакчар – с. Польшнянка  | 2040                               | 65/25                        | 54                                      |
| р. Икса – с. Копаное озеро | 5210                               | 61/20                        | 52                                      |
| р. Икса – с. Плотниково    | 2560                               | 64/49                        | 44                                      |
| р. Парбиг – с. Веселый     | 9100                               | 47/25                        | 48                                      |
| р. Парбиг – с. Парбиг      | 3220                               | 57/35                        | 56                                      |
| р. Андарма – с. Панычево   | 2330                               | 49/35                        | 61                                      |
| р. Ключ – с. Польшнянка    | 75.7                               | 76.6/15                      | 99.6                                    |

\* В числителе по данным дешифрирования космоснимков Landsat [39], в знаменателе по [29].

ных территориях, нет оценки влияния болот на подземную составляющую стока рек. Во-вторых, методика определения подземного стока требует дальнейшей проработки, в том числе при необходимости учета величины стока с болот как части подземного стока рек. В-третьих, слабо изучены тенденции и причины многолетних изменений подземного стока Западной Сибири. Цель данной работы – оценка подземного стока, изучение особенностей его формирования и тенденций многолетних изменений на заболоченной территории Обь-Иртышского междуречья на примере бассейна р. Чая.

Река Чая – левобережный приток р. Обь. Бассейн р. Чая – участок южно-таежной подзоны Западной Сибири на междуречье рек Обь и Иртыш, который мало населен и слабо освоен в хозяйственном отношении, отличается высокой заболоченностью и широким распространением верховых болот (табл. 1, рис. 1).

По результатам современных оценок, заболоченность водосбора реки (см. табл. 1) изменяется от 47% в его восточной части до 65% в западной и в среднем по бассейну составляет 52% [39]. Большинство рек, формирующих речную систему (Парбиг, Андарма, Галка, Тетеренка, Бакчар, Икса, Ключ), берут начало с восточной окраины водораздельного Васюганского болота. Общая площадь водосбора р. Чая у с. Подгорное – 25 000 км<sup>2</sup>, бассейн имеет протяженность 200 км при ширине от 5 до 150 км [12].

В гидрогеологическом отношении территория располагается в пределах крупнейшего артезианского бассейна платформенного типа Западно-Сибирской равнины. В разрезе артезианского бассейна на большей части территории четко вы-

деляются два гидрогеологических этажа, разделенных выдержанным региональным водоупором. Реками дренируется только верхний гидрогеологический этаж, объединяющий водонасыщенные и гидравлически связанные горизонты четвертичных образований, отложений неогена и континентального олигоцена [4, 6, 30].

Бассейн р. Чая характеризуется невысокой эрозионной расчлененностью, на поверхности залегает толща слабопроницаемых глинистых пород, перекрывающих выдержанные по площади нижнекочковский и тобольский песчаные водоносные горизонты верхнего гидрогеологического этажа, имеющие сравнительно высокую водообильность. В верховьях реки имеют наиболее неблагоприятные условия дренирования подземных вод, где отложения отличаются глинистым составом и низкой водообильностью. Ниже по течению долины рек постепенно прорезают глинистую толщу,

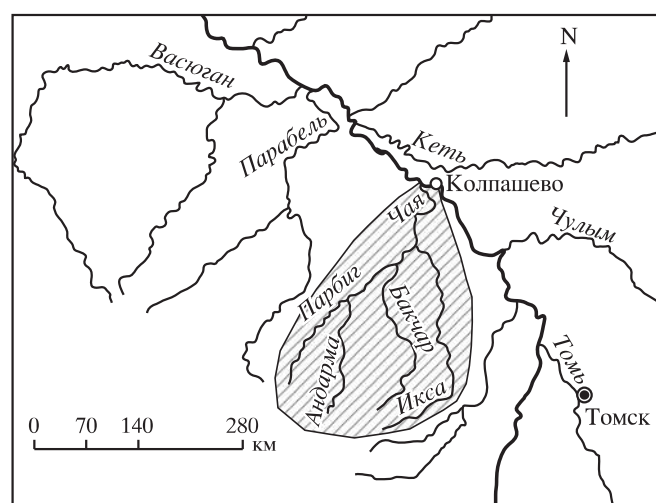


Рис. 1. Схема расположения бассейна р. Чая.

Таблица 2. Способы расчета подземного стока

| № | Способ оценки подземного стока   |
|---|--|
| 1 | Метод Б.И. Куделина [19]   |
| 2 | $Q_{\text{подз},t} = a_0 + a_1 \times (H_{p,t} - H_{r,t}) + a_2 \times H_{r,t} + a_3 \times Q_{t-1}$ [34]  |
| 3 | $Q_{\text{подз},t} = a_0 + a_1 \times (H_{p,t} - H_{r,t}) + a_2 \times H_{r,t}$ [34]   |
| 4 | $Q_{\text{подз}} = \begin{cases} Q_{\text{ср.мес}}, & n = 12, \quad n < 4 \\ Q_{\text{март}} + \frac{Q_{\text{декабрь}} - Q_{\text{март}}}{12 - 3} \times (n - 3), & [34] \end{cases}$ |
| 5 | $Q_{\text{подз},t} = Q_{\text{мин.ср.мес.}}$ [34, 41]  |
| 6 | Способ О.В. Попова [27]  |

$Q_{\text{подз},t}$  – величина подземного стока;  $H_p$  и  $H_r$  – уровни речных и грунтовых вод;  $Q_{\text{ср.мес}}$  – среднемесячный расход воды реки;  $Q_{\text{март}}$  и  $Q_{\text{декабрь}}$  – среднемесячные расходы воды за март и декабрь соответственно;  $Q_{t-1}$  – среднемесячный расход воды в реке за предшествующий период;  $Q_t$  – среднемесячный расход воды в реке;  $n$  – номер расчетного календарного месяца,  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – константы.

и воды нижнекочковского и тобольского горизонтов разгружаются в реки путем напорной фильтрации через глинистые отложения [24, 28].

### МЕТОДИКА

Исходной информацией для проведения исследований послужили 1) материалы наблюдений “Росгидромета” за расходами и уровнями воды; 2) данные об уровнях грунтовых вод с террасовым (1Q<sub>III</sub>, скважина 94р) и междуречными типами режима (Q<sub>IV</sub>tb, скважина 110р), полученные в период с 1965 по 1995 г. Томской геолого-разведочной экспедицией, а с 1996 по 2005 г. – ОАО “Томскгеомониторинг” на режимных скважинах государственной наблюдательной сети в рамках ведения мониторинга геологической среды на территории Томской обл.; 3) материалы наблюдений ФГБНУ “Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа” за уровнями болотных вод в период с 1998 по 2009 г.

Оценка подземного стока проводилась на основе анализа гидрогеологических и гидрологических данных, в результате было выбрано несколько способов расчета. Классическая форма метода Б.И. Куделина [19] использовалась для р. Чая при условии подпорного типа режима подземного стока и наличия явления берегового регулирования (табл. 2, способ 1). Способ О.В. Попова (табл. 2, способ 6) применяли для основных притоков р. Чая в предположении преобладания нисходящего режима подземного стока в реку без образования обратных уклонов подземных вод в прибрежной зоне реки, постепенном увеличении

расходов подземного стока в конце половодья в момент перехода реки на подземное питание [27]. При расчете подземного стока также использовали модификацию способа О.В. Попова (способ 4), который построен на определении стока по среднемесячным расходам воды [34].

Расчет стока также проводили по способам 2 и 3, в основу которых положены регрессионные зависимости от уровней грунтовых вод и расходов воды в реке за предшествующий период, которые являются дальнейшим развитием метода генетического расчленения гидрографа Б.И. Куделина с использованием элементов гидродинамического метода [34–35]. Оценка подземного стока способом 3 согласно [34, 35] строится на допущении, что зависимости между уровнями подземных вод и подземным стоком, найденные для зимней межени, в целом сохраняются в течение всего года, а обоснование этого может быть получено при упрощении уравнения установившейся фильтрации в безнапорном пласте:

$$Q_{\text{подз}} = k_{\phi} \times \frac{H_r - H_p}{2 \times L} - \frac{\psi \times L}{2}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{подз}}$  – удельный приток подземных вод в реку с одного берега с участка водосбора длиной  $L$ ;  $H_p$  и  $H_r$  – уровни речных и грунтовых вод;  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации;  $\psi$  – инфильтрация согласно [34, 35]. При расчетах принимается, что для рассматриваемого периода наблюдается постоянная скорость изменения влажности почвогрунтов во времени, а величина  $\psi$  представляет собой вертикально направленный поток влаги в слое мощ-

ностью, равной глубине залегания грунтовых вод, уравнение (1) преобразуется в (2):

$$Q_{\text{подз}} = a_1 \times (H_{\text{г}} - H_{\text{р}}) + a_2 \times H_{\text{г}} + a_3. \quad (2)$$

Параметры  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  оценены методом наименьших квадратов по данным за зимний меженьный период, когда известны все остальные компоненты уравнения.

Оценка подземного стока по способу 2 проводилась по зависимости, которая была получена при допущении [34, 35], что инфильтрация поверхностных вод пропорциональна общему водному стоку за предыдущий период  $Q_{t-1}$

$$Q_{\text{подз}} = a_1 \times (H_{\text{г}} - H_{\text{р}}) + a_2 \times Q_{t-1} + a_3, \quad (3)$$

где  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  – константы.

Способ 5 основан на определении подземного стока по величине средних минимальных меженьных расходов воды в реке.

Статистический анализ рядов включал проверку на однородность по параметрическим критериям Стьюдента и Фишера. Оценка случайности изменения или нарушения однородности рядов производилась по критерию Питмена [3, 40]. Вывод о неслучайном изменении или нарушении однородности рядов делался при уровне значимости  $\alpha = 5\%$  в случае, когда расчетная статистика ( $\pi$ ) по модулю превышала соответствующее критическое значение ( $\pi_{\text{кр}}$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование подземного стока и его распределение по территории определяются тремя основными факторами: климатом, рельефом и гидрогеологическими условиями, действующими в тесной взаимосвязи [13]. Высокая степень увлажнения исследуемой территории в сочетании со слаборасчлененным рельефом и развитием преимущественно слабопроницаемых отложений приводит к формированию сложных взаимодействий между поверхностными и подземными водами [23]. В периоды половодья и паводков подземный сток определяется характером взаимодействия речных и подземных вод на водосборе и инфильтрацией атмосферных осадков, особенностями геологического строения, в зимнюю межень – притоком подземных вод. В летне-осенний сезон реки исследуемой территории питаются преимущественно грунтовыми и, частично, болотными водами, причем питание болотными водами значительно сокращается или полностью прекращается к середине летне-осеннего сезона,

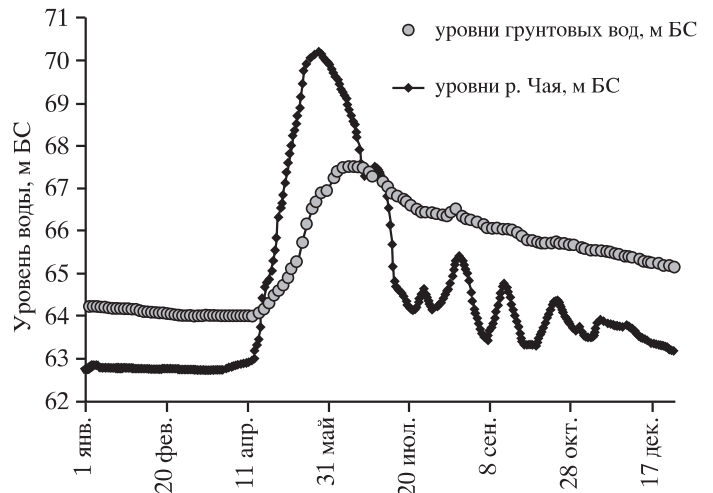


Рис. 2. Совмещенный график хода уровней грунтовых (скважина 94р у с. Подгорное) и речных вод в многогодный год (1985 г.) по р. Чай у с. Подгорное.

и реки переходят на питание подземными водами более глубоких водоносных горизонтов [1].

При обосновании способа расчета подземного стока проводился совместный анализ динамики уровней грунтовых, речных и болотных вод. Исследования, выполненные О.Г. Савичевым, В.А. Лыготиним, Ю.В. Макушиным [22, 33, 35], показали, что для средних притоков Оби в пределах Томской обл. характерен как подпорный, так и нисходящий режимы подземного стока, причем последний в годовом разрезе преобладает. Это подтверждается и результатами исследований, полученными автором для р. Чай и, частично, представленными на рис. 2 и 3. Сравнение динамики уровней грунтовых и речных вод для основных притоков р. Чай также выявило наличие нисходящего режима подземного стока, что под-

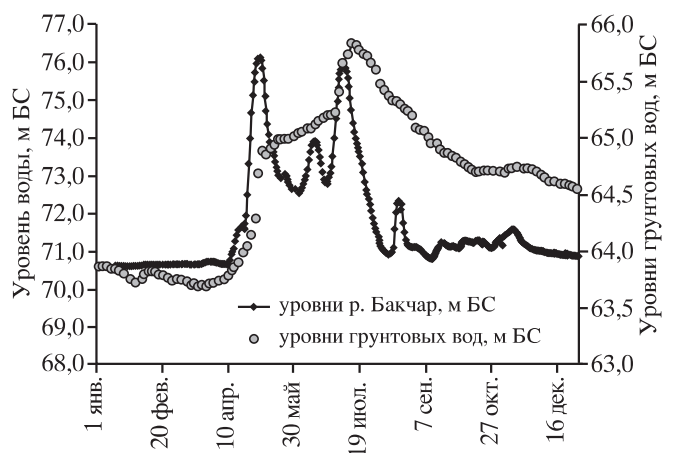


Рис. 3. Совмещенный график хода уровней грунтовых (скважина 94р у с. Подгорное) и речных вод в многогодный год (1972 г.) по р. Бакчар у с. Горелый.

Таблица 3. Сравнение результатов расчетов подземного стока

| Способ рас-<br>чета | Расходы подземного стока $\pm \sigma$ , м <sup>3</sup> /с |                        |                          |                         |                          |                        |                        |
|---------------------|---|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
|                     | Чая –<br>с. Подгорное                                     | Бакчар –<br>с. Горелый | Бакчар –<br>с. Польшанка | Икса –<br>с. Плотниково | Андарма –<br>с. Паньчево | Парбиг –<br>с. Веселый | Ключ –<br>с. Польшанка |
| 1                   | 26.7 $\pm$ 7.23   | –                      | –                        | –                       | –                        | –                      | –                      |
| 2                   | 25.5 $\pm$ 6.24   | 7.73 $\pm$ 3.36        | 1.20 $\pm$ 0.95          | 2.03 $\pm$ 1.02         | 2.72 $\pm$ 1.14          | 14.7 $\pm$ 3.71        | –                      |
| 3                   | 25.7 $\pm$ 5.83   | 8.14 $\pm$ 3.34        | 1.20 $\pm$ 0.95          | 1.75 $\pm$ 1.00         | 2.72 $\pm$ 1.13          | 14.8 $\pm$ 3.52        | –                      |
| 4                   | 24.9 $\pm$ 5.12   | 4.26 $\pm$ 1.23        | 0.39 $\pm$ 0.35          | 0.54 $\pm$ 0.35         | 1.57 $\pm$ 0.29          | 10.0 $\pm$ 1.73        | 0.005 $\pm$ 0.015      |
| 5                   | 20.8 $\pm$ 4.66   | 3.35 $\pm$ 0.66        | 0.14 $\pm$ 0.14          | 0.28 $\pm$ 0.13         | 1.20 $\pm$ 0.30          | 8.64 $\pm$ 1.32        | 0.047 $\pm$ 0.033      |
| 6                   | –   | 7.79 $\pm$ 3.79        | 1.38 $\pm$ 1.06          | 1.99 $\pm$ 1.25         | 3.02 $\pm$ 1.22          | 14.8 $\pm$ 3.75        | 0.047 $\pm$ 0.051      |

тверждается в целом синхронным изменением уровней. Подпорный режим отмечается в некоторых случаях (например, р. Икса у с. Плотниково), однако в целом нет оснований утверждать, что подземный сток полностью прекращается.

Анализ совместной динамики уровней болотных и речных вод в эталонном бассейне малой р. Ключ показал, что условия формирования подземного стока на заболоченных территориях определяются насыщением торфяной залежи болот; сток осуществляется только после насыщения деятельного горизонта. С учетом этого был использован комбинированный подход к оценке подземного стока. Всего было использовано шесть способов расчета подземного стока, три из которых представляют собой модификацию метода Б.И. Куделина (см. табл. 2, способы 1, 2, 5), в том числе традиционная форма метода по [19],

подразумевающая совместный анализ гидрологических и гидрогеологических данных. В случае р. Ключ значительную часть года (в летне-осенний и зимний периоды) в маловодные и средние по водности периоды водный сток не наблюдается, и соответственно подземное питание реки отсутствует. В многоводные годы в зимний период подземный сток также зачастую отсутствует, а в весенний период происходит только после насыщения торфяной залежи болот, что соответствует схеме расчленения гидрографа реки, предложенной О.В. Поповым. Поэтому расчет подземного стока р. Ключ у с. Польшанка был проведен по способу 6.

Результаты, полученные по методам Б.И. Куделина (способы 2, 3) и О.В. Попова, оказались наиболее близкими (табл. 3). Расчет подземного стока по среднемесячным расходам воды в реке (способ 4) дает относительно более низкую вели-

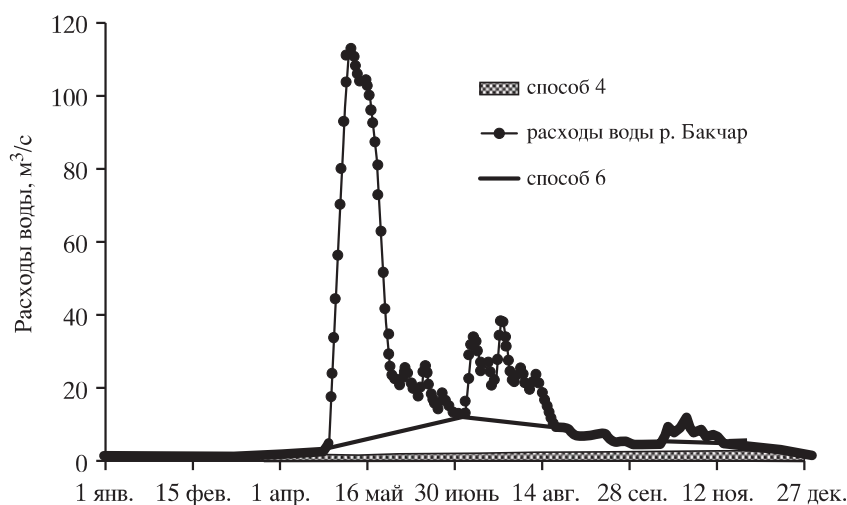


Рис. 4. Схема расчленения гидрографа стока р. Бакчар у с. Польшанка в многоводный год (2002 г.).

Таблица 4. Основные характеристики среднесуточного подземного стока в бассейне р. Чая (1962–2007 гг.)

| Река-пункт            | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> | $Q_{\text{полз}}$<br>(способ 1), м <sup>3</sup> /с | Слой стока, мм | Модуль стока, л/(с·км <sup>2</sup> ) | Коэффициент вариации | $Q_{\text{полз}}/Q_{\text{пов}}$<br>% |
|-----------------------|------------------------------------|--|----------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
|                       |                                    | $Q_{\text{полз}}$<br>(способ 4), м <sup>3</sup> /с |                |                                      |                      |                                       |
| Чая – с. Подгорное    | 25000                              | 26.7   | 34             | 1.07                                 | 0.27                 | 34                                    |
|                       |                                    | 24.9   |                |                                      |                      |                                       |
| Бакчар – с. Горелый   | 6610                               | 7.79   | 37             | 1.18                                 | 0.48                 | 41                                    |
|                       |                                    | 4.26   |                |                                      |                      |                                       |
| Бакчар – с. Польшанка | 2040                               | 1.38   | 21             | 0.68                                 | 0.76                 | 27                                    |
|                       |                                    | 0.39   |                |                                      |                      |                                       |
| Икса – с. Плотниково  | 2560                               | 1.99   | 24             | 0.78                                 | 0.63                 | 28                                    |
|                       |                                    | 0.54   |                |                                      |                      |                                       |
| Парбиг – с. Веселый   | 9100                               | 14.8   | 51             | 1.63                                 | 0.25                 | 48                                    |
|                       |                                    | 10.0   |                |                                      |                      |                                       |
| Андарма – с. Панычево | 2330                               | 3.02   | 41             | 1.30                                 | 0.40                 | 40                                    |
|                       |                                    | 1.57   |                |                                      |                      |                                       |
| Ключ – с. Польшанка   | 76.7                               | 0.047  | 19             | 0.61                                 | 1.07                 | 26                                    |
|                       |                                    | 0.005  |                |                                      |                      |                                       |

чину подземного стока (рис. 4), а расчет по минимальным расходам воды (способ 5) позволяет интерпретировать результаты как оценку наиболее устойчивой части подземного стока. Следует отметить, что каждый из используемых методов имеет ряд ограничений и отрицательных моментов. При расчете подземного стока по методам Б.И. Куделина и О.В. Попова отмечаются некоторая субъективность в вычленении подземного стока на гидрографе реки и завышение расходов, особенно в межсезонье и в периоды летне-осенних паводков. Расходы, рассчитанные по способу 5, находятся в слабой корреляционной зависимости от динамики уровней подземных вод. Способ 4 также не учитывает динамику уровней подземных вод, отражающую подземный сток бассейна. Для расчета подземного стока по способам 4, 5, как указано выше, необходимы данные о минимальных и среднемесячных расходах воды и других определенных ограничений не имеют. Способы 2 и 3 сопряжены с использованием данных об уровнях подземных и речных вод, со сложностью подбора регрессионных зависимостей, что не всегда применимо в условиях недостатка гидрогеологической информации. Кроме того, расчет подземного стока с использованием регрессионных зависимостей требует наличия данных наблюдений за уровнями грунтовых вод водоносного горизонта, гидравлически связанного с рекой, и в скважине, близко расположенной к створу реки.

Расчет представленными способами позволяет определить преимущественно долю подземного питания рек в общем объеме подземного стока бассейна р. Чая.

С учетом этого в качестве базового метода приняты способы 1 (классическая форма метода Б.И. Куделина) и 6 (способ О.В. Попова), поскольку они позволяют получить физически обоснованный результат при минимуме исходной информации. Для анализа многолетних изменений подземного стока использовался способ 4.

Проведенные исследования показали, что среднесуточный расход подземного стока в пределах бассейна р. Чая колеблется от 0.047 до 26.7 м<sup>3</sup>/с (табл. 4), наиболее устойчивая его часть составляет (в среднем) 5.95 м<sup>3</sup>/с. В среднем за многолетний период (обеспеченность от 2.2 до 33%) подземная составляющая стока бассейна реки – 33.9 м<sup>3</sup>/с, в маловодный период – 20.3 м<sup>3</sup>/с, в средний по водности период – 25.7 м<sup>3</sup>/с. Максимальный из среднегодовых расход подземного стока бассейна р. Чая у с. Подгорное был отмечен в 1996 г. (50.8 м<sup>3</sup>/с), минимальный – в 1968 г. (12 м<sup>3</sup>/с). Для основных притоков среднесуточный подземный сток равен 5.80 м<sup>3</sup>/с. Минимальные величины подземного стока в пределах бассейна наблюдаются на правобережных притоках р. Чая – Бакчар и Икса: в многолетний период 2.43 и 3.30 м<sup>3</sup>/с, 0.52 и 0.89 м<sup>3</sup>/с в маловодный

Таблица 5. Внутригодовое распределение подземного стока в бассейне р. Чай

| Река-пункт             | Половодье         |                          | Межень            |                          |                   |                          |
|------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|
|                        |                   |                          | летне-осенняя     |                          | зимняя            |                          |
|                        | м <sup>3</sup> /с | л/(с · км <sup>2</sup> ) | м <sup>3</sup> /с | л/(с · км <sup>2</sup> ) | м <sup>3</sup> /с | л/(с · км <sup>2</sup> ) |
| Чая – с. Подгорное     | 12.8              | 0.51                     | 37.2              | 1.49                     | 25.3              | 1.01                     |
| Бакчар – с. Горелый    | 10.9              | 1.65                     | 8.90              | 1.35                     | 4.43              | 0.67                     |
| Бакчар – с. Польшнянка | 2.29              | 1.12                     | 1.67              | 0.82                     | 0.42              | 0.21                     |
| Икса – с. Плотниково   | 2.79              | 1.09                     | 2.72              | 1.06                     | 0.57              | 0.22                     |
| Парбиг – с. Веселый    | 17.4              | 1.91                     | 17.2              | 1.89                     | 10.2              | 1.12                     |
| Андарма – с. Панычево  | 4.48              | 1.91                     | 3.35              | 1.44                     | 1.59              | 0.68                     |
| Ключ – с. Польшнянка   | 0.108             | 1.40                     | 0.046             | 0.60                     | 0.007             | 0.09                     |

соответственно. Для притоков Андарма и Парбиг величина подземного стока равна в многоводный период 4.21 и 18.7 м<sup>3</sup>/с, в маловодный период – 2.04 и 11.5 м<sup>3</sup>/с соответственно. Коэффициенты вариации годового подземного стока изменяются от 0.27 до 1.07, причем наибольшая временная изменчивость подземного стока наблюдается для бассейнов рек Бакчар и Икса, а также Ключ.

Внутригодовое распределение подземного стока в целом аналогично общему речному (табл. 5), но более равномерно. В целом во внутригодовом распределении подземного стока выделяются два периода с различной интенсивностью изменения слоя подземного стока [2, 41]. Период наибольшей изменчивости включает весенние месяцы. Сток за этот период в среднем по притокам составляет 50–64% от годового объема, тогда как для бассейна р. Чай в этот период объем стока составляет около 15% от годового. Для бассейнов основных притоков (реки Икса, Андарма, Бакчар и Парбиг) период наибольшей изменчивости подземного стока также отмечается в весенний период. В среднем по притокам за многолетний период расход подземного стока в период половодья составляет 7.57 м<sup>3</sup>/с или 1.54 л/(с · км<sup>2</sup>), в летне-осеннюю и зимнюю межень – 5.11 м<sup>3</sup>/с или 0.95 л/(с · км<sup>2</sup>). Продолжительность периода наименьшей изменчивости подземного стока несущественно меняется в течение года.

Анализ условий формирования подземного стока в бассейне р. Чай показал, что главная особенность рассматриваемой территории – ее сильная заболоченность. В верхнем течении русла рек залегают непосредственно в торфяниках, и их питание осуществляется за счет болотных вод. Вниз по течению по мере увеличения вреза русла увеличивается дренирующая способность

рек, а вдоль речных долин появляются полосы суходольных территорий, покрытые лесами [13]. На этих участках реки не получают водного питания непосредственно с болот. Воды, стекающие с водораздельных болотных массивов к их окраинам, фильтруются в минеральные почвогрунты и далее поступают в речные русла грунтовым потоком [13].

В условиях высокой заболоченности водосборов исследуемой территории (от 39 до 66% от площади водосборов) влага стекает горизонтальным потоком в направлении уклонов поверхности по деятельному горизонту болот, который характеризуется относительно высокими, по сравнению с инертным горизонтом, коэффициентами фильтрации (0.1–10 см/с) и небольшой мощностью от 40 до 100 см. В период высокого стояния уровней болотных вод происходит интенсивное стекание вод с болотного массива до тех пор, пока не истощится запас свободной несвязанной воды в деятельном горизонте. При снижении уровня болотных вод до нижней границы деятельного слоя и при переходе его в пределы инертного горизонта сток с болот уменьшается до весьма малых значений или практически полностью прекращается, что подтверждается прекращением стока в летний период при отсутствии атмосферных осадков и в зимний период на болотных реках, дренирующая способность которых ограничивается толщиной торфяной залежи. Для более крупных рек (р. Чай, р. Парбиг) с хорошим врезом русла в подстилающие минеральные грунты в летний период при отсутствии атмосферных осадков и в зимние месяцы при промерзании деятельного горизонта болотное питание прекращается, и реки переходят на питание подземными водами глубоких водоносных горизонтов [13]. Вследствие указанных выше факторов отмечается тенденция снижения

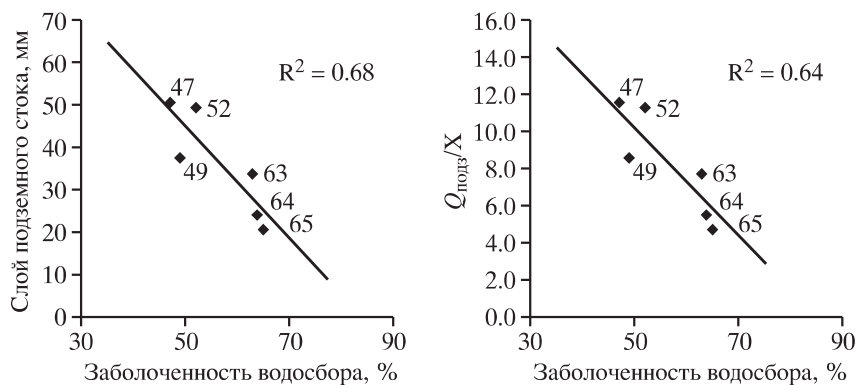


Рис. 5. Зависимость слоев и коэффициентов подземного стока от заболоченности водосборов рек.

величины подземного стока при увеличении общей заболоченности территории (рис. 5).

Для заболоченной территории характерно, что болотные массивы в некоторой степени препятствуют инфильтрации талых и дождевых вод непосредственно в минеральные грунты (рис. 5). В связи с тем, что основной объем выпадающих осадков сбрасывается склоновым стоком по деятельному горизонту частично поверхностным путем к краям болотного массива, пополнение глубоких горизонтов подземных вод, которые определяют наиболее устойчивую часть речного стока, снижается. Кроме того, согласно исследованиям В.А. Всеволожского [5], существенная расходная статья водного баланса территории – испарение и транспирация с площади болотных массивов, что является одной из причин некоторого уменьшения величин подземного стока в южной части территории исследований.

В целом заболоченность способствует снижению подземного стока за счет уменьшения эрозивной расчлененности территории, выравнивания поверхности водосборов рек при накоплении торфа и заторфовывании речных русел. При увеличении заболоченности территории наблюдаются перераспределение участков питания подземных вод глубоких водоносных горизонтов и снижение дренирующей способности речной сети.

Исследования многолетних изменений подземного стока позволили отметить статистически значимую тенденцию увеличения подземной составляющей стока в бассейнах р. Чая у с. Подгорное и р. Икса у с. Копаное озеро в течение всего года, р. Парбиг у с. Веселый, р. Икса у с. Плотниково с января по сентябрь, в также в декабре. В целом изменение среднееголетних расходов подземного стока согласуется с многолетней динамикой уровней грунтовых вод бассейна (табл. 6).

Статистически значимая тенденция увеличения уровней грунтовых вод в течение года отмечена в скважинах у с. Подгорное (94р) и с. Бакчар (110р). Причем в скв. 94р уровни повышаются в периоды с января по май и с ноября по декабрь, тогда в скв. 110р отмечается их увеличение в течение практически всего года. Нарушение однородности рядов, преимущественно по среднему, отмечено в 1984 г., однако в период 1991–1992 гг. в отдельные месяцы отмечается незначительное понижение уровней.

Кроме того, статистический анализ позволил отметить нарушение однородности среднемесячных расходов подземного стока и существенное увеличение в последние два–четыре десятилетия дисперсии и нормы среднегодовых уровней грунтовых вод, уровней и расходов воды (включая подземную составляющую речного стока) р. Чая и ее притоков – рр. Икса, Бакчар, Парбиг и Ключ. При этом большей частью нарушение однородности рядов связано преимущественно с увеличением дисперсии. В изменении подземной составляющей стока р. Чая выделены два условно однородных периода, характеризующиеся более высоким подземным стоком в 1980–2000 гг. по сравнению с предыдущим периодом (1950–1970 гг.). Нарушения однородности гидрологических рядов, полученных непосредственно на р. Чая, несколько опережают по времени нарушения однородности рядов по ее притокам.

Для выявления причин отмеченных тенденций увеличения расходов подземного стока в бассейне р. Чая выполнен поиск корреляционных зависимостей с изменением природно-климатических условий. Проведенные ранее исследования показали статистически значимое увеличение температуры воздуха и атмосферных осадков по метеостанциям у с. Бакчар и г. Колпашево [36, 38].



**Таблица 6.** Результаты проверки рядов среднемесячных и годовых значений гидрогеологических, гидрогеологических и метеорологических показателей на случайность (при уровне значимости  $\alpha = 5\%$ )

| Река, пункт                  | Период                        | Критерий Питмена (П)/а          |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | П <sub>кр</sub> |             |             |      |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|------|
|                              |                               | I                               | II          | III         | IV          | V           | VI          | VII         | VIII        | IX          | X           | XI          | XII         |                 | ср. год     |             |      |
| Подземная составляющая стока | р. Чай<br>у с. Подгорное      | 1953–2007                       | <b>4.7</b>  | <b>5.07</b> | <b>5.45</b> | <b>5.86</b> | <b>5.91</b> | <b>5.60</b> | <b>5.08</b> | <b>4.53</b> | <b>4.03</b> | <b>3.59</b> | <b>3.23</b> | <b>2.93</b>     | <b>5.25</b> | 2.31        |      |
|                              |                               | 1960–2007                       | 1.11        | 1.17        | 1.14        | 1.52        | 1.73        | 1.77        | 1.74        | 1.69        | 1.63        | 1.58        | 1.53        | 1.49            | 1.80        | 2.32        |      |
|                              | р. Бакчар<br>у с. Горелый     | 1933–2007                       | <b>3.83</b> | <b>5.16</b> | <b>4.87</b> | <b>5.08</b> | <b>4.45</b> | <b>3.69</b> | <b>3.10</b> | <b>2.66</b> | <b>2.34</b> | <b>2.10</b> | <b>1.92</b> | <b>1.77</b>     | <b>3.34</b> | 2.29        |      |
|                              |                               | 1951–2007                       | 0.41        | 0.46        | 0.33        | 0.52        | 0.71        | 0.84        | 0.91        | 0.93        | 0.94        | 0.93        | 0.91        | 0.90            | 0.87        | 2.30        |      |
|                              | р. Парбиг<br>у с. Веселый     | 1953–2007                       | 1.86        | <b>2.72</b> | <b>3.35</b> | <b>3.44</b> | <b>3.44</b> | <b>3.32</b> | <b>3.10</b> | <b>2.80</b> | <b>2.46</b> | <b>2.13</b> | <b>1.83</b> | <b>1.56</b>     | <b>2.98</b> | 2.31        |      |
|                              |                               | 1974–2007                       | 1.92        | 1.74        | 0.62        | 1.18        | 1.56        | 1.76        | 1.85        | 1.89        | 1.89        | 1.89        | 1.89        | 1.88            | 2.06        | 2.35        |      |
|                              | р. Икса<br>у с. Коланое озеро | 1965–2007                       | <b>3.72</b> | <b>3.78</b> | <b>4.77</b> | <b>5.84</b> | <b>5.66</b> | <b>5.06</b> | <b>4.53</b> | <b>4.13</b> | <b>3.83</b> | <b>3.61</b> | <b>3.43</b> | <b>3.29</b>     | <b>4.74</b> | 2.33        |      |
|                              |                               | 1965–2005                       | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02            | 0.02        | 0.05        |      |
|                              | Уровень<br>грунтовых<br>вод   | с. Подгорное<br>в долине р. Чай | 1965–2005   | <b>3.69</b> | <b>4.01</b> | <b>3.87</b> | <b>4.05</b> | <b>2.50</b> | <b>1.78</b> | <b>1.56</b> | <b>1.65</b> | <b>2.11</b> | <b>2.23</b> | <b>2.89</b>     | <b>3.74</b> | <b>3.05</b> | 2.33 |
|                              |                               |                                 | 1965–2005   | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.01        | 0.02        | 0.02            | 0.02        | 0.02        | 0.02 |
|                              |                               | с. Бакчар                       | 1965–2005   | <b>5.07</b> | <b>3.37</b> | <b>3.81</b> | <b>3.89</b> | <b>3.22</b> | <b>2.68</b> | <b>2.45</b> | <b>2.14</b> | <b>2.77</b> | <b>2.77</b> | <b>3.41</b>     | <b>4.29</b> | <b>4.08</b> | 2.33 |
|                              |                               |                                 | 1965–2005   | 0.03        | 0.02        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.02        | 0.02        | 0.01        | 0.02        | 0.02        | 0.02            | 0.02        | 0.02        | 0.02 |

*a* – коэффициент, характеризующий скорость изменения гидрометеорологических параметров; жирным шрифтом выделены значения критериев, превышающие критические.

Однако тесных корреляционных зависимостей наблюдаемых изменений уровней грунтовых вод и расходов подземного стока бассейна р. Ча́я с климатическими характеристиками исследуемой территории не выявлено, поэтому можно предположить, что более заметное влияние на изменение гидрологических и гидрогеологических условий в бассейне р. Ча́я имеют внутригодовое перераспределение атмосферного увлажнения и смещение границ гидрологических сезонов. Согласно исследованиям Т.В. Ромашовой [32], в последнее время, по сравнению с 1935–1970 гг., наблюдается изменение временных характеристик климата, в том числе отмечено смещение дат начала и конца всех сезонов года и их фаз на более поздние сроки. За исключением весны и ее первых двух фаз (“снеготаяние” и “послезимье”) наблюдается увеличение изменчивости переходных сезонов года с увеличением их продолжительности. В работе [20] указано, что в пределах исследуемой территории отмечаются более позднее установление устойчивого снежного покрова и снижение продолжительности зимнего периода, наблюдается более поздний переход температуры воды рек данного бассейна через  $0.2^{\circ}\text{C}$  осенью (р. Бакчар у с. Гореловка), выявлен положительный линейный тренд для продолжительности периода с температурой воды в реке больше  $0.2^{\circ}\text{C}$ .

Установлены статистически достоверные тенденции увеличения среднегодовых значений температуры почв по метеостанции у с. Бакчар на глубинах 80, 160, 320 см, а также в январе и в теплый период года с мая по сентябрь. В целом можно отметить, что смещение границ гидрологических сезонов происходит за счет увеличения продолжительности осеннего периода. Также необходимо учитывать возможность влияния на водный баланс территории продолжающегося, как отмечено в работе [14], процесса заболачивания. Исследования показали (см. табл. 1) увеличение общей заболоченности бассейна р. Ча́я и ее притоков в среднем в 2 раза в сравнении с оценками, приведенными в [29]. В связи с преобладанием на исследуемой территории болот верхового типа как с горизонтальным, так и с вертикальным оттоком влаги, величина которого, согласно исследованиям С.М. Новикова [25], составляет до 76 мм в год, увеличение уровней грунтовых вод может быть связано также с поступлением болотных вод в весенний период в подземные горизонты. Авторы работы [8] отмечают, что в условиях изменения климата болота могут служить источником дополнительного питания малых и средних рек из-за снижения глубины промерзания торфяной залежи болот и увеличения ее температуры.

Результаты наблюдений на болотах северо-запада Европейской части России уже показали увеличение уровней болотных вод (на 15–20%) и существенное возрастание стока с болот, особенно в феврале–марте [15]. Увеличение уровней болотных вод также было отмечено и в Западной Сибири на некоторых участках Васюганских болот [36].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом оценка подземного стока показала, что метод генетического расчленения гидрографа реки Б.И. Куделина, способ О.В. Попова и способы расчета 2 и 3, которые являются дальнейшим развитием метода Б.И. Куделина с использованием элементов гидродинамического метода, позволяют получить близкие результаты. Расчет подземного стока по среднемесячным расходам воды в реке (способ 4) дает относительно более низкую величину подземного стока, а расчет по минимальным расходам воды (способ 5) позволяет интерпретировать результаты как оценку наиболее устойчивой части подземного стока.

Анализ условий формирования подземного стока в бассейне р. Ча́я, показал, что заболоченность способствует снижению расходов воды за счет уменьшения эрозионной расчлененности территории, выравнивания поверхности водосборов рек при накоплении торфа и заторфовывании речных русел. При увеличении заболоченности территории наблюдаются перераспределение участков питания подземных вод глубоких водоносных горизонтов и снижение дренирующей способности речной сети. Основной объем выпадающих осадков на сильно заболоченные водосборные территории сбрасывается склоновым стоком по деятельному горизонту болот, частично поверхностным путем к краям болотного массива, при этом пополнение глубоких водоносных горизонтов, которые определяют наиболее устойчивую часть речного стока, снижается.

Среднегодовалый модуль (1962–2007 гг.) подземного стока в бассейне р. Ча́я составил  $1.07 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$  или 34% от суммарного водного стока водосбора, при этом величина наиболее устойчивой его части из хорошо выдержанных на значительном протяжении водоносных горизонтов равна  $1.00 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ , таким образом доля стока с болот в общем подземном стоке исследуемой территории составляет всего 6.54%. При увеличении площади болот на 18% в бассейнах рек – притоках р. Ча́я отмечается снижение слоев подземного стока в 2.4 раза.

Статистический анализ позволил отметить существенное (более чем на 20%) увеличение в последние два–четыре десятилетия среднегодовых уровней грунтовых вод у с. Подгорное и с. Бакчар, расходов подземного стока бассейнов р. Чая и ее притоков – рр. Икса, Парбиг. В изменении подземного стока бассейна р. Чая выделяются два условно однородных периода, характеризующиеся более высокими расходами подземного стока в 1980–2000 гг. по сравнению с предыдущим периодом (1950–1970 гг.). Увеличение подземного стока предположительно связано с внутригодовым перераспределением стока рек и смещением границ гидрологических сезонов в сторону более позднего начала зимней межени и более ранних сроков начала снеготаяния.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-05-33036-мол\_a\_вед.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амосья А.З. Подземный сток южной части Западно-Сибирской равнины // Влияние перераспределения стока вод на природные условия Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. С. 61–69.
2. Амосья А.З., Иванова Е.М., Петровская Н.В., Ратнер Н.С., Черная Т.М. Изменчивость подземного стока в реки Азиатской территории СССР // Тр. ГГИ. Вып. 139. Л.: Гидрометеиздат, 1967. С. 53–78.
3. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 364 с.
4. Всеволожский В.А. Ресурсы подземных вод южной части Западно-Сибирской низменности. М.: Наука, 1973. 88 с.
5. Всеволожский В.А. Подземный сток и водный баланс платформенных структур М.: Недра, 1983. 167 с.
6. Гидрогеология СССР. М.: Недра, 1970. Т. 16. 367 с.
7. Джамалов Р.Г., Зекцер И.С., Кричевец Г.Н., Сафронова Т.И., Сотникова Л.Ф., Громова Ю.В. Изменение подземного стока под влиянием климата и антропогенных воздействий // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 1. С. 17–24.
8. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Кричевец Г.Н., Сафронова Т.И., Киреева М.Б., Игонина М.И. Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 6. С. 571–589.
9. Дубровская Л.И., Ермашова Н.А. Об оценке грунтового стока малых рек Обь-Томского междуречья // Проблемы геологии и географии Сибири. Вестник ТГУ. Приложение. № 3 (IV) апрель. 2003. С. 131–133.
10. Зверев В.П. Подземные воды земной коры и геологические процессы. М.: Научный мир, 2007. 256 с.
11. Зекцер И.С. Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. М.: Изд-во Новое, 2012. 376 с.
12. Земцов В.А. Воды // География Томской области. Томск: Изд-во ТГУ, 1988. С. 76–96.
13. Иванова Е.М. Распределение подземного стока в реки по территории Западной Сибири и некоторые особенности его формирования // Тр. ГГИ. Вып. 139. Л.: Гидрометеиздат, 1967. С. 99–111.
14. Иншиева Л.И., Дубровская Л.И., Иншиев Н.Г. Гидрологический режим верхового болота // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 1. С. 54–57.
15. Калюжный И.Л., Лавров С.А., Романюк К.Д. Изменения водного режима болот севера и северо-запада России под влиянием климатических факторов // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 1. С. 13–22.
16. Камнева О.А. Многолетние изменения гидрогеологических условий Среднеобского бассейна // Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск: Изд-во ТПУ, 2012. 19 с.
17. Кирюхин В.А., Швец В.М. Гидрогеология XXI века – возможные пути развития // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 6. С. 56–62.
18. Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.
19. Куделин Б.И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М.: Изд-во МГУ, 1960. 344 с.
20. Ложникова О.А. Изучение условий формирования поверхностного стока реки Бакчар (Томская область) // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. XVI Междунар. симп. им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Т. I. Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та, 2012. С. 573–575.
21. Льготин В.А., Макушин Ю.В., Савичев О.Г., Шварцев С.Л. Пресные подземные воды Томской области: ресурсы, качество и использование // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса и производительных сил Томской области. Матер. научно-практ. конф. Новосибирск: ИГНГ СО РАН, 2004. С. 208–209.
22. Льготин В.А., Савичев О.Г., Макушин Ю.В. Многолетние изменения среднесезонных и среднегодовых уровней и температуры подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области // Геоэкология. 2010. № 1. С. 23–29.
23. Назаров А.Д., Рассказов Н.М., Удодов П.А., Шварцев С.Л. Гидрогеологические условия формирования болот // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 93–103.

24. Никитин С.П., Земцов В.А. Изменчивость полей гидрологических характеристик в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 204 с.
25. Новиков С.М. Водобмен болот // Матер. второй науч. школы “Болота и Биосфера”. Томск: Изд-во ТГПУ, 2003. С. 25–38.
26. Попов В.К., Лукашевич О.Д., Коробкин В.А., Золотарева В.В., Галямов Ю.Ю. Эколого-экономические аспекты эксплуатации подземных вод Обь-Томского междуречья. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2003. 174 с.
27. Попов О.В. Подземное питание рек. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 291 с.
28. Природные условия центральной части Западно-Сибирской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1977. 212 с.
29. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. Н.А. Паниной. Л.: Гидрометеоздат, 1972. Т. 15. 406 с.
30. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. М.: Недра, 1991. 262 с.
31. Рогов Г.М., Попов В.К., Осипова Е.Ю. Проблемы использования природных вод бассейна р. Томи для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2003. 218 с.
32. Ромашова Т.В. Климатические изменения на юге Томской области в глобальном контексте // Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном аспекте. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. С. 334–337.
33. Савичев О.Г., Макушин Ю.В. Многолетние изменения подземных вод верхней гидродинамической зоны на территории Томской области // Изв. ТПУ. 2004. Т. 307. № 4. С. 60–63.
34. Савичев О.Г. Подземный водный сток в бассейне Средней Оби и его многолетние изменения // Гидрогеология, инженерная геология и гидрогеоэкология. Матер. науч. конф. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. С. 43–50.
35. Савичев О.Г. Подземная составляющая речного стока на территории Томской области // Мелиорация и водное хозяйство, 2010. № 1. С. 36–39.
36. Савичев О.Г., Харанжевская Ю.А. Многолетние изменения гидроклиматических условий в бассейне реки Чая (Западная Сибирь) // Изв. ТПУ. 2008. Т. 313. № 1. С. 79–82.
37. 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.
38. Савичев О.Г., Скугарев А.А., Базанов В.А., Харанжевская Ю.А. Водный баланс заболоченных водосборных территорий Западной Сибири (на примере малой реки Ключ, Томская область) // Геоинформатика. 2011. № 3. С. 39–46.
39. Харанжевская Ю.А. Геоэкологическая оценка состояния заболоченных территорий южно-таежной подзоны Западной Сибири (на примере бассейна реки Чая) // Геоэкология. 2013. № 4. С. 303–315.
40. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. М.: Изд-во МГУ, 1993. 168 с.
41. Черная Т.М. О внутригодовом распределении подземного стока в реки // Тр. ГГИ. Вып. 139. Л.: Гидрометеоздат, 1967. С. 79–98.
42. Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Савичев О.Г. Ресурсы подземных вод Томской области // Рациональное использование природных ресурсов и комплексный экологический мониторинг окружающей среды. Томск: Изд-во ТГУ, 2006. С. 72–76.
43. Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А. и др. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: в 5 томах. Т. 2: Система вода-порода в условиях зоны гипергенеза. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 389 с.
44. Шикломанов И.А., Бабкин В.И., Балонишников Ж.А. Водные ресурсы, их использование и водообеспеченность в России: современные и перспективные оценки // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 2. С. 131–141.
45. World water resources at the beginning of the 21st century. Project of IHP UNESCO / Ed. Shiklomanov I.A. St. Petersburg, 1999. 395 p.

## REFERENCES

1. Amusya, A.Z. *Podzemnyi stok yuzhnoi chasti Zapadno-Sibirskoi ravniny* [Underground runoff in the southern part of the West Siberian plain]. *Vliyanie pereraspredeleniya stoka vod na prirodnye usloviya Sibiri* [Influence of the runoff redistribution of runoff on the natural conditions of Siberia]. Novosibirsk, Nauka, 1980, pp. 61–69 (in Russian).
2. Amusya, A.Z., Ivanova, E.M., Petrovskaya N.V., Ratner, N.S., Chernaya, T.M. *Izmenchivost' podzemnogo stoka v reki Aziatskoi teritorii SSSR* [Variability of groundwater discharge to the rivers in the Asian part of the USSR]. *Trudy GGI, vyp. 139* [Proc. of State Hydrological Institute, vol. 139], Leningrad, 1967, pp. 53–78 (in Russian).
3. Vladimirov, A.M. *Gidrologicheskie raschety* [Hydrological calculations]. Leningrad, 1990, 364 p. (in Russian).
4. Vsevolozhskii, V. A. *Resursy podzemnykh vod yuzhnoi chasti Zapadno-Sibirskoi nizmennosti* [Groundwater resources in the southern part of the West Siberian Lowland]. Moscow, Nauka, 1973, 88 p. (in Russian).
5. Vsevolozhskii, V.A. *Podzemnyi stok i vodnyi balans platformennykh struktur* [Underground runoff and water balance of platform structures]. Moscow, Nedra, 1983, 167 p. (in Russian).

6. *Gidrogeologiya SSSR* [Hydrogeology of the USSR]. Moscow, Nedra, 1970, vol. 16, 367 p. (in Russian).
7. Dzhamalov, R.G., Zektser, I.S., Krichevets, G.N., Safronova, T.I., Sotnikova, L.F., Gromova, Yu.V. *Izmenenie podzemnogo stoka pod vliyaniem klimata i antropogennykh vozdeistvii* [Change in groundwater flow under the influence of climate and anthropogenic impact]. *Vodnye resursy*, 2008, vol. 35, no. 1, pp. 17–24 (in Russian).
8. Dzhamalov, R.G., Frolova, N.L., Krichevets, G.N., Safronova, T.I., Kireeva, M.B., Igonina, M.I. *Formirovanie sovremennykh resursov poverkhnostnykh i podzemnykh vod Evropeiskoi chasti Rossii* [Formation of the modern surface- and groundwater resources in the European part of Russia]. *Vodnye resursy*, 2012, vol. 39, no. 6, pp. 571–589 (in Russian).
9. Dubrovskaya, L.I., Ermashova, N.A. *Ob otsenke gruntovogo stoka malyykh rek Ob'-Tomskogo mezhdurech'ya* [An estimate of groundwater flow of minor rivers at Ob-Tomsk interfluve] *Problemy geologii i geografii Sibiri. Vestnik TSU. Annex 3 (IV)*, April, 2003, pp. 131–133 (in Russian).
10. Zverev, V.P. *Podzemnye vody zemnoi kory i geologicheskie protsessy* [Groundwater in the Earth's crust and geological processes]. Moscow, Nauchnyi mir, 2007, 256 p. (in Russian).
11. Zektser, I.S. *Podzemnyi stok i resursy presnykh podzemnykh vod* [Underground runoff and fresh groundwater resources]. Moscow, Novoe Publ., 2012, 376 p. (in Russian).
12. Zemtsov, V.A. *Vody* [Water]. *Geografiya Tomskoi oblasti* [Geography of Tomsk region]. Tomsk, TSU Publ., 1988, pp. 76–96 (in Russian).
13. Ivanova, E.M. *Raspredelenie podzemnogo stoka v reki po territorii Zapadnoi Sibiri i nekotorye osobennosti ego formirovaniya* [The distribution of groundwater flow to the rivers of Western Siberia and some features of its formation]. *Trudy GGI* [Proc. of State Hydrological Institute]. Vol. 139. Leningrad, 1967, pp. 99–111 (in Russian).
14. Inisheva, L.I., Dubrovskaya, L.I., Inishev, N.G. *Gidrologicheskii rezhim verkhovogo bolota* [The hydrological regime of upland moors]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo*. 2008, no. 1, pp. 54–57 (in Russian).
15. Kalyuzhnyi, I.L., Lavrov, S.A., Romanyuk, K.D. *Izmeneniya vodnogo rezhima bolot severa i severozapada Rossii pod vliyaniem klimaticheskikh faktorov* [Changes in water regime of moors in the north and northwest of Russia under the influence of climate factors]. *Vodnye resursy*. 2012, vol. 39, no. 1, pp. 13–22 (in Russian).
16. Kamneva, O.A. *Mноголетние изменения гидрогеологических условий Среднеобского бассейна. Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук* [Long-term changes in hydrogeological conditions Sredneobsky basin. Extended Abstract of Cand. Sci. (Geol.-Mineral.) diss.]. Tomsk, TPU Publ., 2012, 19 p. (in Russian).
17. Kiryukhin, V.A., Shvets, V.M. *Gidrogeologiya XXI veka – vozmozhnye puti razvitiya* [Hydrogeology of the XXI century – the possible ways of development]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2007, no. 6, pp. 56–62 (in Russian).
18. Kovalevskiy, V.S. *Kombinirovannoe ispol'zovanie resursov poverkhnostnykh i podzemnykh vod* [Combined use of surface and groundwater resources]. Moscow, Nauchnyi mir, 2001, 332 p. (in Russian).
19. Kudelin, B.I. *Printsipy regional'noi otsenki estestvennykh resursov podzemnykh vod* [Principles of assessment of regional natural groundwater resources]. Moscow, MGU, 1960, 344 p. (in Russian).
20. Lozhnikova, O.A. *Izuchenie uslovii formirovaniya poverkhnostnogo stoka reki Bakchar (Tomskaya oblast')* [The study of formation conditions of the surface runoff of the Bakchar River (Tomsk oblast')]. *Problemy geologii i osvoeniya neдр: Trudy XVI Mezhdunar. simp. im. akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchennykh* [Problems in Geology and Mineral Resources Development: Proc. XVI Intern. Symp. in Comm. Academician M.A. Usov of Students and young scientists]. Tomsk, Tomsk Politekh. Univ. Publ., 2012, vol. 1, pp. 573–575 (in Russian).
21. L'gotin, V.A., Makushin, Yu.V., Savichev, O.G., Shvartsev S.L. *Presnye podzemnye vody Tomskoi oblasti: resursy, kachestvo i ispol'zovanie* [Fresh groundwater in the Tomsk region: resources, quality and use]. *Problemy i perspektivy razvitiya mineral'no-syr'evogo kompleksa i proizvoditel'nykh sil Tomskoi oblasti. Mater. nauchno-prakt. konferentsii* [Problems and prospects of development of mineral resources and the productive forces in the Tomsk region. Proc. Sci. Conf.]. Novosibirsk, IGNG SB RAS, 2004, pp. 208–209 (in Russian).
22. L'gotin, V.A., Savichev, O.G., Makushin, Yu.V. *Mноголетние изменения среднесезонных и среднегодовых уровней и температуры подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области* [Long-term changes in average seasonal and annual average temperature of groundwater and the upper hydrodynamic zone in Tomsk region]. *Geoekologiya*, 2010, no. 1, pp. 23–29 (in Russian).
23. Nazarov, A.D., Rasskazov, N.M., Udodov, P.A., Shvartsev, S.L. *Gidrogeologicheskie usloviya formirovaniya bolot* [Hydrogeological conditions of bog formation]. *Nauchnye predposylki osvoeniya bolot Zapadnoi Sibiri* [Scientific prerequisites for bog development in the Western Siberia]. Moscow, Nauka, 1977, pp. 93–103 (in Russian).
24. Nikitin, S.P., Zemtsov, V.A. *Izmenchivost' polei gidrologicheskikh kharakteristik v Zapadnoi Sibiri* [The variability of hydrological characteristics fields in the Western Siberia]. Novosibirsk, Nauka, 1986, 204 p. (in Russian).

25. Novikov, S.M. *Vodoobmen bolot* [Water exchange of moors]. *Mater. vtoroi nauch. shkoly "Bolota i Biosfera"* [Proc. Second scientific. School "Bogs and Biosphere"]. Tomsk, TGPU Publ., 2003, pp. 25–38 (in Russian).
26. Popov, V.K., Lukashevich, O.D., Korobkin, V.A., Zolotareva, V.V., Galyamov, Yu.Yu. *Ekologo-ekonomicheskie aspekty ekspluatatsii podzemnykh vod Ob'-Tomskogo mezhdurech'ya* [Ecological and economic aspects of groundwater exploitation in the Ob-Tomsk interfluves]. Tomsk, TGASU Publ., 2003, 174 p. (in Russian).
27. Popov, O.V. *Podzemnoe pitanie rek* [Underground supply of rivers]. Leningrad, 1968, 291 pp. (in Russian).
28. *Prirodnye usloviya tsentral'noi chasti Zapadno-Sibirskoi ravniny* [Environmental conditions of the central part of the West Siberian Plain]. Moscow, MGU, 1977, 212 p. (in Russian).
29. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface water resources of the USSR]. Leningrad, 1972, V. 15. 406 p. (in Russian).
30. *Resursy presnykh i malomineralizovannykh podzemnykh vod yuzhnoi chasti Zapadno-Sibirskogo artzianskogo basseina* [Fresh and low mineralized groundwater resources in the southern part of the West Siberian artesian basin]. Moscow, Nedra, 1991, 262 p. (in Russian).
31. Rogov, G.M., Popov, V.K., Osipova, E.Yu. *Problemy ispol'zovaniya prirodnykh vod basseina r. Tomi dlya khozyaistvenno-pit'evogo vodosnabzheniya* [Problems of water use in Tom river basin for domestic water supply]. Tomsk, TGASU Publ., 2003, 218 p. (in Russian).
32. Romashova, T.V. *Klimaticheskie izmeneniya na yuge Tomskoi oblasti v global'nom kontekste* [Climate change in the south of Tomsk region in the global context]. *Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya Sibiri v global'nom aspekte* [Actual problems in ecology and nature management of Siberia in the global context]. Tomsk, TPU Publ., 2007, pp. 334–337 (in Russian).
33. Savichev, O.G., Makushin, Yu.V. *Mnogoletnie izmeneniya podzemnykh vod verkhnei gidrodinamicheskoi zony na territorii Tomskoi oblasti* [Long-term changes in the groundwater of the upper hydrodynamic zone in Tomsk region]. *Izvestiya TPU*, 2004, V. 307, no 4. pp. 60–63 (in Russian).
34. Savichev, O.G. *Podzemnyi vodnyi stok v basseine Srednei Obi i ego mnogoletnie izmeneniya* [Underground water runoff in the basin of the Middle Ob River and its long-term changes]. *Gidrogeologiya, inzhenernaya geologiya i gidrogeoekologiya. Mater. Nauchn. Konf.* [Hydrogeology, engineering geology and Hydrogeoecology. Proc. Sci. Conf.]. Tomsk, NTL Publ., 2005, pp. 43–50 (in Russian).
35. Savichev, O.G. *Podzemnaya sostavlyayushhaya rechnogo stoka na territorii Tomskoi oblasti* [The underground component of river flow in the Tomsk region] *Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo*, 2010, no. 1, pp. 36–39 (in Russian).
36. Savichev, O.G., Kharanzhevskaya, Yu.A. *Mnogoletnie izmeneniya gidroklimaticheskikh uslovii v basseine reki Chaya (Zapadnaya Sibir')* [Long-term changes in hydroclimatic conditions in the Chaya River basin (Western Siberia)]. *Izvestiya TPU*, 2008, V. 313, no. 1. pp. 79–82 (in Russian).
37. Savichev, O.G., L'gotin, V.A., Kamneva, O.A. *Mnogoletnie izmeneniya gidrogeodinamicheskogo rezhima podzemnykh vod Obskogo basseina* [Long-term changes in the hydrogeodynamic regime of groundwater in Ob River basin]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2011, no. 11, pp. 32–35 (in Russian).
38. Savichev, O.G., Skugarev, A.A., Bazanov, V.A., Kharanzhevskaya, Yu.A. *Vodnyi balans zabolochennykh vodosbornykh territorii Zapadnoi Sibiri (na primere maloi reki Klyuch, Tomskaya oblast')* [The water balance of boggy catchment areas in the Western Siberia (by an example of the minor Klyuch River, Tomsk region)]. *Geoinformatika*, 2011, no. 3, pp. 39–46 (in Russian).
39. Kharanzhevskaya, Yu.A. *Geoekologicheskaya otsenka sostoyaniya zabolochennykh territorii yuzhno-tayozhnoi podzony Zapadnoi Sibiri (na primere basseina reki Chaya)* [Geoecological estimation of boggy territories condition in south-taiga subzone of Western Siberia (for an example of Chaya river basin)]. *Geoekologiya*, 2013, no. 4, pp. 303–315 (in Russian).
40. Khristoforov, A.V. *Nadezhnost' raschetov rechnogo stoka* [Reliability in river runoff calculation]. Moscow, Mosk. Gos. Univ., 1993, 168 p. (in Russian).
41. Chernaya, T.M. *O vnutrigodovom raspredelenii podzemnogo stoka v reki* [About annual distribution of groundwater flow in the rivers]. *Trudy GGI* [Proc. of State Hydrological Institute]. Leningrad, 1967, vol. 139, pp. 79–98 (in Russian).
42. Shvartsev, S.L., Rasskazov, N.M., Savichev, O.G. *Resursy podzemnykh vod Tomskoi oblasti* [Groundwater resources in Tomsk region]. *Ratsional'noe ispol'zovanie prirodnykh resursov i kompleksnyi ekologicheskii monitoring okruzhayushchei sredy* [Natural resources management and integrated environmental monitoring]. Tomsk, TGU Publ., 2006, pp. 72–76 (in Russian).
43. Shvartsev, S.L., Ryzhenko, B.N., Alekseev, V.A. et al. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda-poroda: v 5 tomah. T. 2: Sistema voda-poroda v usloviyakh zony gipergeneza* [Geological evolution and self-organization of water-rock system: in 5 volumes. V. 2: Water-rock system in a supergene zone]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2007, 389 p. (in Russian).

44. Shiklomanov, I.A., Babkin, V.I., Balonishnikova, Zh.A. *Vodnye resursy, ikh ispol'zovanie i vodoobespechennost' v Rossii: sovremennye i perspektivnye otsenki* [Water resources, their use and water availability in Russia: current and future assessment]. *Vodnye resursy*, 2011, vol. 38, no. 2, pp. 131–141 (in Russian).
45. World water resources at the beginning of the 21st century. Project of IHP UNESCO, Ed. Shiklomanov, I.A. St. Petersburg, 1999, 395 p.

## GROUNDWATER FLOW IN THE CENTRAL PART OF OB-IRTYSH INTERFLUVE (BY THE EXAMPLE OF CHAYA RIVER BASIN)

**Yu. A. Kharanzhevskaya**

*Siberian Research Institute for Agriculture and Peat,  
ul. Gagarina 3, Tomsk, 634050 Russia. E-mail: kharan@yandex.ru*

The paper estimates the groundwater flow in the Chaya River basin. The study is devoted to the formation of groundwater flow in widespread wetlands. A comparative analysis of the various methods of determining the flow is performed, and a trend of long-term changes is revealed. The groundwater flow was evaluated on the basis of a comprehensive analysis of hydrogeological and hydrological data, and, as a result, several methods of groundwater flow calculation have been chosen. The study has shown that the adequate methods of groundwater flow calculation are those taking into account the dynamics of groundwater levels. These methods are considered as the further development of the method of genetic dissection of the river hydrograph with the hydrodynamic method elements. Analysis of groundwater flow formation conditions in the Chaya River basin showed that waterlogging reduces the water discharge by leveling the erosion dissection in the territory, smoothing the river catchments by peat accumulation in river beds. With an increase in waterlogged areas, redistribution of groundwater recharge of deep aquifers and reduction in drainage capacity of the river network are observed. The bulk of rainfall on heavily waterlogged catchment areas is discharged with the slope runoff along the active horizon of wetlands, and partly by the surface to the bog edges. In this case, replenishment of deep aquifers, which determines the most stable part of the river flow, is reduced.

Statistical analysis allows marking a significant (more than 20%) increase in the last two to four decades in the average annual groundwater runoff and groundwater levels. Average long-term modulus (1962–2007) of groundwater flow in the Chaya River basin is  $1.07 \text{ l}/(\text{s} \times \text{km}^2)$ , or 34% of the total catchment runoff, while the value of its most stable part over a considerable distance of aquifers is  $1.00 \text{ l}/(\text{s} \times \text{km}^2)$ . In the groundwater flow of the Chaya River basin, two relatively homogeneous periods are distinguished, one characterized by a higher groundwater discharge in 1980–2000 as compared to the previous period (1950–1970). An increase in groundwater flow is supposedly connected to the yearly redistribution of river flow and shifting seasonal hydrological boundaries towards the later start of winter low water season and the earlier start of spring snowmelt.

**Keywords:** *groundwater runoff, Chaya River basin, river flow formation condition, bogs and bogged areas, catchment areas.*