УДК 556.3:556.5 *DOI: 10.35567/1999-4508-2017-5-4*

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРИТОКА НА РЕКАХ ВЕРХНЕМСТИНСКОГО БАССЕЙНА

© 2017 г. П.И. Яковлев

Русское географическое общество, Тверской филиал ФБУ "Росгеолфонд" г. Тверь. Россия.

Ключевые слова: река, озеро, водохранилище, подземный сток, геологические условия, климатические условия, попуски, водохозяйственные факторы, Верхнемстинский бассейн, р. Мста.

Дана оценка влияния физико-географических, геологических и водохозяйственных факторов на формирование подземного стока рек Верхнемстинского бассейна. Показано, что высокие параметры подземного стока в реки обусловлены благоприятными литологическими и климатическими условиями, значительной озерностью района. Большое влияние на минимальный меженный и подземный сток рек оказывают крупные водохранилища Вышневолоцкой гидротехнической системы. Ранее оценка подземного притока в реки на этой территории проводилась Государственным гидрологическим институтом и другими научными организациями в 1970–1980-е годы. Однако в этих работах расчетные параметры подземного стока не всегда тесно увязывались с местными природными условиями. Вместе с тем, за последние полвека накоплен значительный объем данных Росгидромета, Государственного гидрологического института и других организаций по минимальному меженному и подземному стоку рек этого района. В представленной работе проведена систематизация этих важных гидрологических характеристик по Верхнемстинскому бассейну, уточнены параметры подземного притока в реки, озера и водохранилища этого региона.



П.И. Яковлев

На западе Тверского региона у границы с Новгородской областью расположен Верхнемстинский озерный район. В административных границах в него входят Бологовский, частично Вышневолоцкий, Удомельский районы Тверской области, а также Валдайский район Новгородской области. Верхнемстинский район выделяется тем, что здесь проходит главный водораздел рек Волжского и Балтийского бассейнов, а также пролегает граница Московского и Ленинградского артезианских бассейнов.

Данный регион имеет важное водохозяйственное значение, поскольку обладает большими ресурсами поверхностных и подземных вод. Здесь рас-

положены крупные водохранилища и озера Вышневолоцкой гидротехнической системы (ВВ ГТС). Как известно, их заполнение происходит в основном в весенний период талыми водами, а также во время летне-осенних дождевых паводков. Но в последние годы из-за малоснежных зим и продолжительной низкой летне-осенней межени значительно увеличилась доля подземных вод в общем водном притоке в крупные водохранилища ВВ ГТС. В связи с частой повторяемостью маловодных периодов возникла необходимость уточнения параметров подземного притока в реки, озера и водохранилища в этом регионе.

Целью данной работы является выявление основных естественных и искусственных факторов, влияющих на условия формирования и величину подземного стока на реках Верхнемстинского бассейна.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРХНЕМСТИНСКОГО БАССЕЙНА

В целом количество озер и водохранилищ весьма неоднородно по площади бассейна Верхней Мсты. К примеру, с юга Верхнемстинский озерный район окаймляют бассейны рек Шлина и Цна, которые являются частью общего Мстинского водосбора, но отличаются низкой озерностью (табл. 1). Данные реки протекают на территории Тверской области. Другой мстинский приток II порядка – р. Съежа – относится к соседнему Удомельско-Брусовскому озерному району [1] и впадает в реку Уверь (мстинский приток 1 порядка), уже на территории Новгородской области. Гидрологическая характеристика р. Сьежа приведена в отчете института «Теплоэлектропроект» [2].

Рельеф местности

Для большей части территории бассейна Верхней Мсты характерен холмисто-моренный тип рельефа [3], где абсолютные отметки суши изменяются от 170 до 190 м. Холмы сложены моренными суглинками, днища межхолмовых понижений часто покрыты озерно-болотными суглинками и супесями. Большие массивы холмисто-моренного рельефа находятся в левобережной части бассейна р. Мсты, на участке д. Сельцо Карельское – устье р. Березайки, а также у г. Бологое и по обоим берегам р. Кемки (рис. 1). Вместе с тем, на данной территории среди холмисто-моренного рельефа встречаются другие ледниковые формы – моренные гряды, озы, камы и зандровые равнины. Среди них можно отметить несколько протяженных водно-ледниковых гряд: первая тянется от оз. Пирос до группы озер Серемо–Тихмень–Гранично, расположенных в верховье р. Граничная – приток р. Шлина; вторая гряда прослеживается от озер Оловенец и Кафтино до селений Ян – Хотилово и ст. Куженкино (рис. 1); третья расположена между реками Мста и Съежа. Моренные гряды и холмы часто чередуются с широкими полосами и пятнами зандровых равнин [1, 3]. Наибольшие их

массивы расположены вдоль рек Шлина, Шлинка и Цна, где они сложены мощной толщей песчаных и песчано-гравелистых отложений, до 30–40 м. Другой большой зандровый участок расположен на правобережье р. Березайки, на участке д. Заборки – д. Устье [3]. Мощность песчано-галечниковых отложений в этом районе у д. Старое достигает более 25 м. Менее значимые зандровые поверхности, отличающиеся небольшой мощностью песчаных и обломочных пород, отмечены в других точках региона [1, 3]. В частности, вдоль линии оз. Пирос – в/п Ильятино (оз. Немега) располагается неширокая зандровая равнина, которая огибает г. Бологое в 10 км к западу [3]. Отдельное ее ответвление проходит узкой полосой от оз. Кафтино до пос. Мста и затем, повернув на юг, пересекает озера Тишидро, Пудоро, Мстино, незаметно сливаясь с Вышневолоцкой зандровой равниной. Ранее вдоль р. Мста на участке шлюз – устье р. Березайки тверскими геоморфологами была выделена узкая полоса песчаных понижений [1]. По краям Верхнемстинского бассейна на его площадь заходят отроги Валдайской возвышенности, где абсолютные отметки рельефа на водоразделах достигают 250–260 м [4, 5].

Главные реки Верхнемстинского бассейна

Условно весь Верхнемстинский бассейн можно подразделить на ряд крупных частных водосборов: I – Мстинско-Вышневолоцкий; II – Цнинский; III – Шлинский; IV – бассейн р. Березайки и его частные водосборы: IVА– Валдайский, IVБ – Кемецкий; IVВ – Верхнеберезайский; IVГ – Нижнеберезайский.

Основная река региона – Мста. Ниже устья р. Березайки, у границы Тверской области, она имеет площадь водосбора (F) 8410 км^2, длину водотока (L) на участке шлюз – водпост Березовский Рядок 55 км. Крупными притоками Верхней Мсты являются реки Цна (F= 4160 км^2, L= 160 км); Шлина (F = 2580 км^2, L = 102 км); Валдайка (F = 783 км^2, L = 50 км); Кемка (F = 783 км^2, L = 19 км); Березайка (F = 3230 км^2, L = 150 км). Ширина р. Мста ниже шлюза составляет 20–40 м; р. Шлина – от 60 м в верховье и до 300 м вблизи устья; р. Цна – от 10 до 50 м. Река Березайка на участке ниже оз. Пирос имеет ширину 30–40 м, но выше водоема у пос. Березайка этот показатель увеличивается до 50–60 м из-за влияния подпора от Рютинской плотины.

Озерность и заболоченность бассейна Верхней Мсты

Озерность и заболоченность всего Верхнемстинского бассейна довольно высокие – 5 и 6 % от всей площади водосбора [1]. Общее количество озер в этом регионе с площадью водного зеркала > 0,5 км^2 около 100 (табл. 1). Большинство из них являются остатками ложбин стока древнего валдайского ледника и по форме озерных котловин делятся на лопастные –

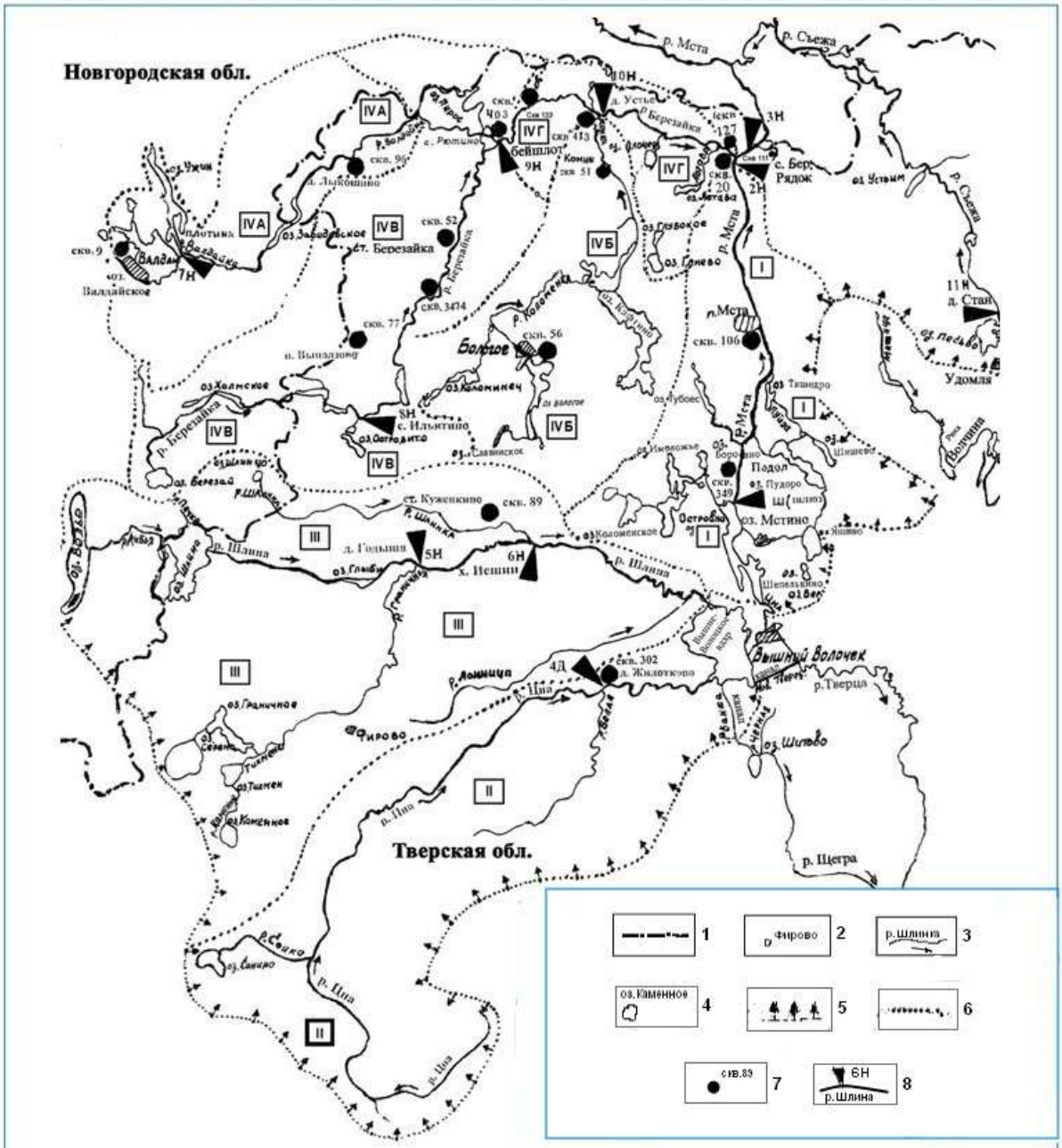


Рис. 1. Схема Верхнемстинского бассейна: 1 – граница областей; 2 – населенные пункты; 3 – реки; 4 – озера; 5 – региональная граница бассейнов Волги и Балтийского моря, выделенная пунктиром со стрелкой; 6 – граница частных водосборов (I – бассейн р. Мста; II – бассейн р. Цна; III – бассейн р. Шлина; IV – бассейн р. Березайка и его частные водосборы: IVA – бассейн р. Валдайки; IVБ – бассейн рек Кемка и Коломенка; IVB – басссейн р. Березайки от истока до оз. Пирос; IVГ – бассейн р. Березайки от оз. Пирос до устья); 7 – опорные скважины; 8 – пункты наблюдений за речным стоком: Ш – гидропост на Мстинском шлюзе; Д и Н – действующие и закрытые водпосты Росгидромета и других ведомств.

Таблица 1. Морфометрические характеристики основных водоемов на отдельных участках водосборов главных рек Верхнемстинского бассейна

Номер водосбора, подрайон, река (рис. 1)	Участок водосбора	Озера и водохранилища, S – площадь водного зеркала, км^2, $H_{ср}$ – средняя глубина, м, W – объем, млн м^3
I. Мстинско-Вышневолоцкий подрайон, р. Мста до границы Тверской области, исключая притоки – реки Цна, Шлина, Березайка	Левобережье	**оз. Мстино (вдхр)**, S = 13,7 км^2, W = 65,0 млн м^3 оз. Бельское, S = 2,9 км^2 оз. Коломенское, S = 5,9 км^2, $H_{ср}$ = 3,1 м оз. Островно, S = 3,0 км^2, $H_{ср}$ = 7,8 м оз. Заверховье, S = 1,1 км^2 оз. Имоложье, S = 7,6 км^2, $H_{ср}$ = 3,7 м оз. Боровно, S = 1,1 км^2 оз. Тубоес, S = 2,8 км^2
	Правобережье	оз. Шепелькино, S = 1,6 км^2 оз. Ящино, S = 6,7 км^2 пр. Карповый, S = 1,3 км^2 оз. Пудоро, S = 8,0 км^2, $H_{ср}$ = 2,6 м оз. Шишево, S = 3,0 км^2, $H_{ср}$ = 2,4 м оз. Тишидро, S = 2,3 км^2, $H_{ср}$ = 0,5 м оз. Лука, S = 0,8 км^2
II. Цнинский подрайон, р. Цна	Верхнее течение	оз. Сонино, S = 6,2 км^2
	Нижнее течение	**Вышневолоцкое вдхр,** S = 108 км^2; W = 325 млн м^3
III. Шлинский подрайон, р. Шлина	Верхнее течение	**оз. Велье (вдхр),** S = 45 км^2 **оз. Шлино (вдхр)**, S = 35 км^2; W = 68,3 млн м^3 оз. Глыби, S = 2,5 км^2 оз. Шлинцо (р. Шлинка), S = 0,9 км^2
	Приток р. Шлины – р. Граничная, верховье	оз. Каменное, S = 5,1 км^2 оз. Тихмень, S = 5,4 км^2 оз. Серемо, S = 19,6 км^2 оз. Граничное, S = 6,9 км^2

Продолжение таблицы 1. Морфометрические характеристики основных водоемов на отдельных участках водосборов главных рек Верхнемстинского бассейна

Номер водосбора, подрайон, река (рис. 1)	Участок водосбора	Озера и водохранилища, S – площадь водного зеркала, км^2, $H_{ср}$ – средняя глубина, м, W – объем, млн м^3
IV. Бассейн реки Березайки, IVA. Валдайский подрайон, р. Валдайка, впадающая в оз. Пирос	Верховье р. Валдайка, Новгородская обл.	оз. Валдай, S = 19,7 км^2; $H_{ср}$ = 12 м оз. Ужин, S = 9,15 км^2; $H_{ср}$ = 7,0 м Правобережье: р. Корачевка – приток р. Черненка, оз. Короцкое, S = 0,7 км^2, оз. Корачевка 1 и 2, S=0,5 и 0,6 км^2 р. Ситная – приток р. Черненка, оз. Ситно, S = 0,9 км^2 оз. Петрово, S = 1,2 км^2 оз. Таграньь, S = 0,5 км^2.
	Участок р. Валдайки у границы Тверской обл.	Правобережье: оз. Стреглино, S = 0,7 км^2 оз. Городно, S = 1,2 км^2 Цепь озер на главном русле: Закидовское – Плотично – Мишневское, $S_{общ}$ = 2,5 км^2
	Нижнее течение	Правобережье: оз. Лунево, S = 0,5 км^2 Левобережье: бассейн р. Званки оз. Сухое, S= 0,5 км^2, оз. Зван, S = 2,0 км^2
IV. Бассейн р. Березайки, IVБ. Кемецкий подрайон, р. Кемка и верховье р. Елоховка	Верхний приток р. Кемки – р. Коломенка	оз. Долгое, S = 0,7 км^2 оз. Коломинец, S = 2,7 км^2 оз. Великое, S = 2,0 км^2 оз. Б. Птинка, S = 0,4 км^2 оз. Осовец, S = 0,9 км^2 оз. Славинское, S = 1,3 км^2 оз. Глубочиха, S = 0,7 км^2 оз. Бологое, S = 7,9 км^2 оз. Озеренки, S = 1,1 км^2 оз. Святое, S = 0,5 км^2 оз. Боруй, S = 0,4 км^2
	Реки Кемка и Елоховка (верховье)	**оз. Кафтино (Кемецкое вдхр)** S = 37,5 км^2; W = 78,6 млн м^3 оз. Лобынок (р. Лобынка), S = 2,4 км^2 оз. Тюшинское, S = 0,5 км^2 оз. Мокрое, S = 0,5 км^2 р. Елоховка, верховье: оз. Гонево, S = 2,1 км^2 оз. Глубокое, S = 0,9 км^2

Номер водосбора, подрайон, река (рис. 1)	Участок водосбора	Озера и водохранилища, S – площадь водного зеркала, км^2, $H_{ср}$ – средняя глубина, м, W – объем, млн м^3
IV. Бассейн р. Березайки. IV В. Верхнеберезайский подрайон, р. Березайка от истока до оз. Пирос, исключая р. Валдайку	Верхнее течение р. Березайки, исток – в/п Ильятино	оз. Березай, S = 4,1 км^2 Цепь озер на главном русле: Сомино, S = 0,8 км^2, Холмское – Михайловское – Большое и Малое Искровно, $S_{общ}$ = 5,0 км^2; оз. Сомиха (правобережье), S = 0,8 км^2 Цепь озер на правом притоке, выше в/п Ильятино: оз. Хорино, S = 0,5 км^2; оз. Лиственник, S = 0,7 км^2, оз. Островито – оз. Немего, $S_{общ}$=1,8 км^2, левый приток – р. Ливица: оз. Рядчинское, S = 0,5 км^2; оз. Онисимово, S = 0,4 км^2
	Участок р. Березайки, в/п Ильятино – оз. Пирос	оз. Лохово, S = 1,3 км^2 Цепь озер на главном русле: Большое и Малое Пертешно – Селище, $S_{общ}$ = 3,0 км^2 оз. Шарово, S = 0,5 км^2 лев. приток р. Едерка, исток: оз. Едрово, S = 1,9км^2 оз. Верхне и Нижнеберезное, S = 0,5 и 0,3 км^2 оз. Горнешно, S = 1,3 км^2 оз. Удаль, S = 1,4 км^2 оз. Отдыхаловское (р. Алешинка), S = 1,0 км^2
	Бассейн оз. Пирос	**оз. Пирос (Березайское вдхр)**, S = 31,6 км^2; W = 93,4 млн м^3 оз. Соминское, S = 0,8 км^2 оз. Хвощня, S = 1,0 км^2 оз. Щедомец, S = 0,5 км^2 оз. Круглое, S = 0,4 км^2 оз. Долгое, S = 0,5 км^2 оз. Клещино, S = 0,5 км^2
IV Бассейн р. Березайки, IVГ.Нижнеберезайский подрайон, р. Березайка от оз. Пирос до устья, исключая р. Кемка и р. Еловка (верховье)	Левобережье	оз. Ладейно, S = 1,2 км^2 оз. Запьяна, S = 0,5 км^2 оз. Медведько (водораздел), S = 0,8 км^2 оз. Белое, S = 0,6 км^2 оз. Круглое, S = 0,6 км^2 оз. Долгое, S = 0,4 км^2 оз. Карботово, S = 0,4 км^2
	Правобережье	оз. Беленец, S = 0,4 км^2 оз. Оловенец (р. Оловенка), S = 1,8 км^2 оз. Лотово (р. Лотава), S = 1,1 км^2

Примечание: перечисление водоемов на отдельных участках речных водосборов производится сверху вниз по течению реки; размеры крупных водоемов (выделено полужирным) S>10 км^2 приводятся согласно данным госсайта www.region 69.gov.ru; морфометрические характеристики средних и малых озер S = 2–10 км^2[1, 6]; площади водного зеркала очень малых водоемов S = 0,5(0,4) – 2 км^2 определены графически с топопланов, М 1:100000.

озера Кафтино, Бологое и др. и ложбинообразные – Мстино, Тубоес, Пудоро и т. д. Необходимо отметить, что отдельные водоемы – озера Валдайское, Ужин, Пирос, Кафтино и др. принадлежат к особому типу позднеледниковых водоемов, которые унаследовали древние тектонические понижения и в настоящее время частично перекрыты большой толщей песков, глин и суглинков валдайской морены.

При создании Вышневолоцкой водной системы отдельные крупные озера были преобразованы в водохранилища: озера Шлино (Шлинское вдхр), Пирос (Березайское вдхр), Кафтино (Кемецкое вдхр), Мстино (Мстинское вдхр). В 1940-х годах на оз. Велье, вблизи истока р. Явона, была построена плотина, которая способствовала подъему уровней воды в этом водоеме, в результате чего весь его водосбор присоединился к бассейну Верхней Мсты. Другое большое водохранилище – Вышневолоцкое – образовано в XVIII в. путем строительства бейшлота на р. Цна у г. Вышний Волочек [7].

Наряду с большим количеством ледниковых озер в этом районе встречаются крупные водоемы карстового происхождения преимущественно округлой формы, расположенные в верховье р. Граничная (приток р. Шлины): озера Серемо, Тихмень, Гранично и т. д. Вместе с тем, небольшое количество карстовых озер малых размеров можно встретить на водосборах рек Валдайки и Березайки [4, 5]. Самыми глубокими водоемами в бассейне Верхней Мсты являются озера Валдайское, Ужин, Пирос, Велье, Кафтино, Бологое и т. д., где максимальные глубины достигают от 30 до 60 м. На территории Верхнемстинского региона высокая озерность соседствует с повышенной заболоченностью местности, этому способствуют преобладание плоского равнинного рельефа, его слабая расчлененность, низкая густота речной сети, а также литология подстилающей поверхности. Крупные заболоченные массивы встречаются вблизи многих озер, а также в междуречье Шлины и Шлинки и в окрестностях г. Бологое [1].

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО СТОКА В ВЕРХНЕМСТИНСКОМ БАССЕЙНЕ

Из всех природных факторов, влияющих на интенсивность подземного притока в реки, озера и водохранилища в данном регионе, наиболее значимым является литология водовмещающих пород. В целом для всего Верхнемстинского района характерно залегание пресных подземных вод в верхнедевонских, нижнекаменноугольных и четвертичных отложениях (рис. 2). Глубина зоны пресных вод вблизи г. Бологое составляет более 200 м. Высокая озерность, обильные атмосферные осадки, в среднем до 750 мм/год, и рельеф местности создали в районе Валдайской возвышенности благоприятные условия питания для водоносных горизонтов верхнего девона, нижнего карбона и четвертичных отложений, в среднемноголетнем

разрезе до 60–80 мм/год [4, 5, 8]. При этом области питания глубоких подземных вод Московского артезианского бассейна и его граница смещаются далеко вглубь бассейна р. Мсты, относительно регионального водораздела бассейнов Волги и Мсты, включая земли тверских северо-западных административных районов и небольшую часть территории Новгородской области [8]. На процесс формирования подземного стока оказывают влияние глубина эрозионного вреза долины и ее дренирующее воздействие. Следует отметить, что большинство долин рек бассейна Верхней Мсты являются молодыми и не разработанными, они прорезают в основном толщу четвертичных отложений. Их мощность в среднем составляет 20–30 м, в районе озер Валдайское и Пирос достигает более 50 м. При этом, ниже рыхлых четвертичных пород залегают уже твердые карбонатные породы.

Глубина эрозионного вреза р. Мста в пределах Тверской области составляет 7–15 м; рек Шлина и Цна – до 10 м; р. Березайки – более 10 м [9]. Река Мста за пределами Тверской области, протекая по территории Новгородчины, выходит на карбоновое плато, где прорезает мощную толщу известняков [5]. Ширина долин рек Шлина, Цна, Березайка в нижнем течении достигает 2–3 км. Долина р. Мсты на участке шлюз – в/п Березовский Рядок от 0,3 до 0,9 км [9].

Как ранее установлено, современные долины рек Мста, Цна, Белая и Березайка на отдельных участках унаследовали древние долины, врезанные в карстующиеся известняки и заложенные в доледниковый период по линии тектонических разломов, что привело к увеличению дренирующего воздействия и повлияло на направление движения подземных вод. По современным представлениям зоны повышенного подземного притока на таких речных участках возможны при наличии «литолого-фациальных окон», возникающих при размытости или небольшой мощности глинистых водоупоров в толще моренных отложений, которые перекрывают доледниковые долины в этом регионе на глубину до 80–120 м [4, 5]. Необходимо отметить, что к увеличению дренирующего воздействия приводит также высокая неотектоническая активность в районе, которая вызывает повышенную трещиноватость водоносных известняков, разрыв и смещение глинистых водоупоров в геологическом разрезе. Свидетельством неотектонических нарушений являются перекаты и уступы в долинах рек Цна и Белая, в акватории оз. Кафтино [9], а также высокая трещиноватость известняков нижнего карбона в долинах рек Мста и Цна [4]. Кроме тектонического фактора на процессы геофильтрации влияют карстовые процессы в междуречье рек Цна и Белая и в бассейне р. Березайки. Выходы известняков на дневную поверхность наблюдаются на р. Цна (участок пос. Октябрьский – д. Кузнецово), и на р. Белая, у д. Сушино.

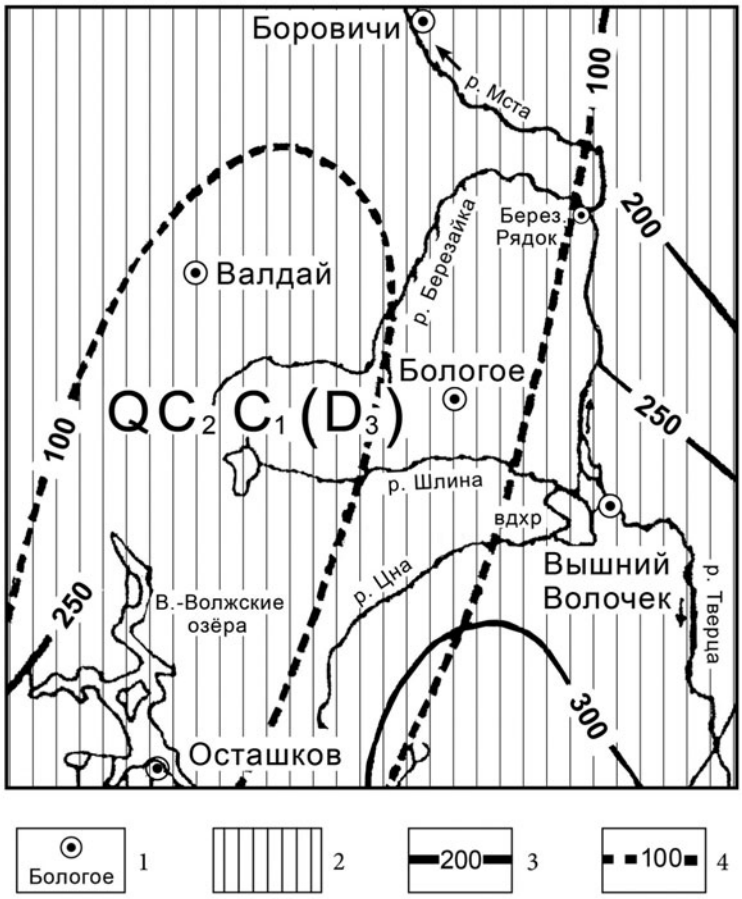


Рис. 2. Фрагмент схематической карты мощности зоны пресных вод и глубин дренирования водоносных горизонтов Московского артезианского бассейна в пределах водосбора Верхней Мсты (Лебедева Н.А, Институт водных проблем РАН, 1972 г.): 1 – крупные населенные пункты; 2 – распространение пресных подземных вод преимущественно в нижнекаменноугольных и верхнедевонских отложениях (C_1, D_3) и частично в четвертичных и среднекаменноугольных отложениях (Q, C_2); 3 – изолинии мощности пресных вод, м; 4 – изолинии глубины дренирования водоносных горизонтов, м.

Подземный приток в озера и водохранилища зависит от размеров и глубины эрозионного вреза озерных котловин и литологии донных отложений. Большие водоемы – озера Шлино, Валдайское и Вышневолоцкое водохранилище – характеризуются большой толщей хорошо водопроницаемых песчаных отложений – более 10 м [4, 9]. Очень малые водоемы с глубинами < 2–3 м и площадью < 2–3 км^2, могут располагаться на моренных суглинках, перекрытых небольшим слоем песка или торфа, до 1–2 м. При анализе антропогенных факторов, влияющих на подземный сток региона, необходимо отметить, что на его территории расположены два крупных города – Бологое и Вышний Волочек – с населением 22–50 тыс. жителей. Водоотбор из подземных источников для каждого из них не превышает 20 тыс. м^3/сут. Причем, к настоящему времени здесь не выявлено воронок депрессии подземных вод [10], которые часто приводят к уменьшению или перехвату подземного притока в реки и водоемы.

Расчетные параметры подземного стока рек бассейна Верхней Мсты и их зависимость от литологии водовмещающих пород

В данной работе в качестве универсального показателя интенсивности подземного стока в реки использовался модуль подземного стока (q л/с км^2). На территории Верхнемстинского района наибольшие его значения, q > 2 л/с км^2, наблюдаются в бассейне рек Цна и Шлина, а также на правобережье р. Березайки на участке д. Заборки – д. Устье (табл. 2). Именно здесь расположены крупные зандровые равнины, сложенные мощной толщей песков, гальки и гравия. На западе Верхнемстинского района, в бассейне р. Валдайки, четвертичные отложения представлены флювиогляциальными песками большой мощности, H > 10 м. На этой территории также отмечены повышенные значения подземного стока > 1,5 л/с км^2. На других участках Верхнемстинского бассейна его показатели могут различаться по геолого-литологическим причинам. В частности, на р. Мста, на участке Мстинский шлюз – в/п Березовский Рядок, модуль подземного стока снижается до 1,5 л/с км^2 и менее (табл. 3), что связано с уменьшением мощности песчаных отложений до 2–6 м и увеличением толщи глинистых и суглинистых пород в этом районе. На нижнем участке р. Мсты, у д. Павлушкино, водно-ледниковые отложения представлены большой толщей аллювиальных и флювиогляциальных песков, H > 20 м, при отсутствии глинистых водоупоров, разделяющих водоносные горизонты нижнего карбона и четвертичных отложений. Данные геолого-литологические характеристики могут свидетельствовать о наличии здесь зоны повышенного подземного притока, но при условии залегания в нижней части разреза большой толщи водоносных известняков с высокими коллекторскими свойствами [11].

ВЫВОДЫ

Верхнемстинский бассейн на большей части территории характеризуется повышенными и высокими значениями подземного стока – 1,5–3 л/с км^2. Однако на отдельных участках Верхнемстинского бассейна показатели подземного притока могут снижаться из-за неблагоприятных гидрогеологических условий. Основными естественными факторами, влияющими на формирование подземного стока в данном регионе, являются литология водовмещающих пород, высокая озерность, заболоченность и увлажненность территории, а также повышенная неотектоническая активность на отдельных участках рек, где возможно возникновение очагов разгрузки подземных вод.

Анализ гидрогеологических условий территории показывает, что основные реки региона из-за неглубокого эрозионного вреза (менее 15–20 м) дренируют в основном водоносные горизонты четвертичных отложений, которые в некоторых частях Верхнемстинского бассейна отличаются высокой водообильностью, т. к. здесь верхняя водоносная толща сложена из разнозернистых песков большой мощности с включением щебня, гравия и гальки. Значительный подземный приток из водоносных горизонтов нижнего карбона возможен на тех участках рек, где известняки залегают близко от дневной поверхности, или там, где произошли геолого-структурные нарушения или возникли «гидрогеологические окна» и существует гидравлическая связь между водоносными горизонтами при условии размытости или неотектонического сдвига водоупоров в геологическом разрезе. Соотношение объемов подземного притока из верхних и глубоких водоносных горизонтов определяется для каждого расчетного участка реки при достаточном объеме гидрохимических, гидрогеохимических и гидрометрических данных.

Из искусственных факторов большое влияние на подземный и минимальный меженный сток рек региона оказывают большие озера и водохранилища Вышневолоцкой водной системы. Как правило, эти водоемы повышают уровни грунтовых вод на прилегающей территории. При этом общий подземный приток из разных водоносных горизонтов на зарегулированных реках в нижнем бьефе плотины может возрастать за счет увеличения разгрузки грунтовых вод. Как известно, на озерных реках из-за постоянных попусков из естественных и искусственных водоемов весьма затруднительно использовать гидрометрический метод оценки подземного стока. В этих случаях, измерение меженных расходов воды должно производиться синхронно в двух гидрометрических створах на каждом обследуемом участке реки с учетом гидрогеологических условий района и времени добегания руслового потока от начального до замыкающего створов. В конечном итоге определяется приращение минимального стока на отдельных отрезках

Таблица 2. Норма подземного и среднемноголетнего минимального 30-дневного зимнего стока для рек Верхнемстинского бассейна

Река, водомерный пост	Площадь водосбора, км^2	Расстояние до устья, км	Период наблюдений, год	Норма стока: в числителе – расход воды, Q_p, м^3/с; в знаменателе – модуль стока, q_p л/с км^2		
				Подземный сток, P = 50 %	Среднемноголетний минимальный 30-дневный зимний сток	
				Оценка Государственного гидрологического института (ГГИ), 1972 г. [12]	Оценка ГГИ, 1980 г. [13]	Государственный водный кадастр, 1986 г. [14]
р. Мста, с. Березовский. Рядок	5180	390	1881–1913, 1923–1928, 1931–1996	—	(11,5)/(2,22)	—
р. Мста, ниже устья р. Березайки	8410	388	1881–1933	—	(17,3)/(2,06)	—
р. Цна, д. Жилотково	1460	38	1933–2017	3,18/2,18	2,94/2,04	2,88/1,97
р. Шлина, д. Годыши	1620	60	1954–1994	4,44/2,74	4,88/3,01	—
р. Шлина, х. Иешин	2030	37	1945–1946	5,85/2,88	—	—
р. Валдайка, Шуйская плотина	163	50	1962–1964	0,27/1,66	—	—
р. Березайка, д. Ильятино	477	109	1960–1969	0,70/1,47	—	—
р. Березайка, Березайский бейшлот	2120	54	1917–1935	(4,45)/(2,1)	—	(5,83)/(2,8)
р. Березайка, д. Устье	3030	29	1952–1991	—	—	(8,34)/(2,75)
р. Съежа – приток р. Уверь, д. Стан	400	исток (оз. Удомля)	1976	—	0,82/2,05	—

Примечание: согласно расчетам Государственного гидрологического института [12], отношение нормы подземного стока в этом районе к его параметрам низкой обеспеченности в среднем составляет: для P = 75 % 1,3–1,4 раза; для P = 95 % 1,8–2,0 раза.

Таблица 3. Расчет нормы подземного притока на участке р. Мста: Мстинский шлюз – в/п Березовский Рядок

Створ на р. Мста, (входящий или замыкающий), река-аналог	Площадь водосбора, км^2	Расстояние до устья, км	Первое измерение стока 08.09.1939 г. [15]					Второе измерение стока 07.03.1985 г. [15]				
			Измеренный сток: Q_i, ΔQ_i, м^3/с	Норма подземного стока на реке-аналоге, Qa, м^3/с	Коэффициент водности на реке-аналоге, Кв	Норма подземного притока на расчетном участке		Измеренный сток: Q_i, ΔQ_i, м^3/с	Норма подземного стока на реке-аналоге, Qa, м^3/с	Коэффициент водности на реке-аналоге, Кв	Норма подземного притока на расчетном участке	
						ΔQ_i * Кв = ΔQ_p м^3/с	Модуль стока, q л/с км^2				ΔQ_i * Кв = ΔQ_p, м^3/с	Модуль стока, q, л/с км^2
Входящий створ: Мстинский шлюз	4710	445	< 0,1	—	—	—	—	5,60	—	—	—	—
Приток из 2 озер, $S_{общ}$ = 5 км^2	—	—	< 0,1	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—
Замыкающий створ: в/п Березовский Рядок	5180	390	0,45	—	—	—	—	6,58	—	—	—	—
Входящий – замыкающий створы: Мстинский шлюз – в/п Березовский Рядок	470	55	0,40	—	—	0,7	1,5	0,78	—	—	0,71	1,5
1. Ближайшая река-аналог: р. Тьма, с. Новинки	1800	13	2,02	3,2	0,6	—	—	3,60	3,2	1,1	—	—
2. Ближайшая река-аналог: р. Цна, д. Жилотково	1460	38	1,73	2,9	0,6	—	—	3,10	2,9	1,1	—	—

Примечание: В табл. 3 расчетные характеристики подземного притока в реки даны только для участка р. Мста: шлюз – в/п Березовский Рядок, т. е. там, где определяется приращение меженного стока, а также для двух незарегулированных ближайших реки-аналогов, где проводились стационарные измерения водного стока. Для замыкающих створов эти гидрологические параметры из-за приближенных значений ввиду зарегулированности речного стока не приводятся (прочерк в графах таблицы).

реки, исключая незначительный боковой приток поверхностных вод из мелких речек и ручьев, вытекающих из небольших озер.

Как было отмечено, в разных частях этого района были выявлены глубинные геотектонические нарушения. Но влияние этих геолого-структурных факторов на подземный сток и интенсивность разгрузки подземных вод в долинах рек и в озерных котловинах недостаточно изучены. Наряду с этим, до настоящего времени не проведен подробный анализ роли погребенных древних долин в происходящих гидрогеологических процессах. В будущем следует продолжить научные исследования по этим направлениям: на первом их этапе, для уточнения параметров подземного стока в бассейне Верхней Мсты, необходимо провести детальную меженную гидрометрическую съемку в комплексе с гидрохимическими, термометрическими и кондуктометрическими наблюдениями. Перед началом полевых гидрологических работ потребуется заново оценить геолого-структурные условия района, используя геофизические и дистанционные методы. К примеру, линеаментный анализ многозональных космоснимков для выявления глубинных тектонических нарушений позволит выделить перспективные участки повышенного подземного стока, где в дальнейшем должны проводиться полевые водные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Природа и хозяйство Калининской области. Калининский пединститут, 1960. С. 655.
2. Гидрометеорологический очерк по г. Удомля Калининской области. Калининская АЭС, 2 очередь. Теплоэлектропроект. Горький, 1978. С. 195.
3. Васильева И.В. Геоморфология центральной части Калининской области // Ученые записки МГУ. Вып. 23. География. М., 1938. С. 66–98.
4. Гидрогеология СССР. Т. 1. Московская и смежные области. М.: Недра, 1966. С. 423.
5. Гидрогеология СССР Т. 3 Ленинградская, Псковская, Новгородская области. М.: Недра, 1967. С. 328.
6. *Истомина Э.Г., Яковлева З.Н.* Голубое диво. Историко-географический справочник о реках, озерах и болотах Новгородской области. Л.: Лениздат, 1989. С. 222.
7. *Зигерт Г.Е.* Вышневолоцкая водная система – 300 лет на благо России. В. Волочек: Изд-во Ирида-прос. 2007. С. 202.
8. *Лебедева Н.А.* Естественные ресурсы Московского артезианского бассейна. М.: Наука, 1972. С. 148.
9. Государственные геологические и гидрогеологические карты с пояснительными записками. М 1:200000, МИНГЕО СССР, 1974, 1977.
10. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Тверской области в 2015 году. МПР Тверской области. Тверь, 2016. С. 149.

11. *Яковлев П.И.* Выявление участков интенсивной разгрузки подземных вод в реки с использованием и дистанционных гидрологических методов // Разведка и охрана недр, 2009. № 7. С. 43–49.
12. Оценка водных ресурсов Московского артезианского бассейна по данным изученности на 01.01.1972. Л.: ГГИ, 1974. С. 156.
13. Оценка подземного притока в реки Нечерноземной зоны РСФСР. Т. 1 Приложения. Табличный материал. Л ГГИ. 1980. С. 28.
14. Государственный водный кадастр. Т. 1. Вып.5. Бассейн Балтийского моря Онежского и Ладожского озер. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. С. 688.
15. Гидрологические ежегодники за 1938–1996 годы. Т. 1. Бассейн Балтийского моря. Л.: Гидрометеоиздат, 1939–1997. С. 280–450.

Сведения об авторе:

Яковлев Петр Иванович, гидролог, Тверской филиал ФБУ «Росгеолфонд» (ТФ ФБУ ТФГИ по ЦФО), Россия, 170100, г. Тверь, ул. Радищева, 24; e-mail: akva-petr.1947@mail.ru