

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ИСЗ «ЛАНДСАТ 5,8» В ДАЛЬНОМ ИК-ДИАПАЗОНЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ УЧАСТКОВ ПОВЫШЕННОГО ПОДЗЕМНОГО ПРИТОКА В РЕКИ, ОЗЕРА И ВОДОХРАНИЛИЩА (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОЙ, СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЕЙ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ)

*Яковлев Петр Иванович*

инженер-гидролог,

Русское географическое общество, Россия, г. Тверь

В статье показаны возможности использования тепловых космических снимков ИСЗ «Ландсат-5,8» и других отечественных и зарубежных спутников в водных исследованиях при выявлении участков повышенного подземного притока в реки, озера и водохранилища. Согласно данным космической съемки в дальнем ИК-диапазоне было подтверждено, что наибольший подземный приток в летне-осенний период наблюдается на реке Волга, Ивановском и Угличском водохранилищах, а также на реке Тверца и отдельных крупных озерах исследуемого района. Также по материалам тепловой космической съемки установлено, что на малых и средних реках исследуемого района, на фоне низкого подземного стока возможны небольшие участки повышенного подземного притока, которые не являются очагами интенсивной разгрузки подземных вод.

*Ключевые слова:* космическая съемка, тепловые снимки, подземный приток, геологические, гидрогеологические условия, реки, озера, водохранилища.

**Введение.** Как известно, в 80-90 годы прошлого века в гидрологических и в гидрогеологических исследованиях стали широко использоваться дистанционные аэрокосмические методы. В этот период было установлено, что при выявлении участков повышенного подземного притока в реки, озера, водохранилища наиболее эффективна дистанционная тепловая съемка территории в дальнем ИК-диапазоне, а также полезна многозональная космосъемка в видимом спектре – при проведении линеamentного анализа, выделении переувлажненных участков местности грунтовыми водами и т.д. Необходимо напомнить, что в 1980-1990 годы фотоматериалы космической съемки, находящиеся в архивах различных ведомств, были в небольшом объеме, и преимущественно только для служебного пользования. При этом имеющиеся космические снимки зарубежных спутников являлись в то время очень дорогостоящими. К настоящему времени большая часть такой видеoinформации с отечественных и зарубежных спутников является бесплатной, находится в открытом доступе и представлена на многих отечественных и зарубежных сайтах и порталах. Как известно, за последние 30-лет выполнено множество дистанционных измерений территории Тверской области и других регионов России с разных космических аппаратов. Среди иностранных спутников проводящих дистанционное зондирование Земли необходимо выделить ИСЗ «Ландсат-5,6,7,8», видеoinформация которых в настоящее время очень востребована географами, геологами, геологами и другими специалистами. Кроме этих

спутников Земли, в последние годы в исследованиях природных ресурсов стали широко использоваться материалы космической съемки ИСЗ «Sentinel 2L 2A,2L2C» Европейского космического агентства (ЭКА), а также другие данные дистанционного зондирования Земли из многочисленных источников. Ранее в 1987-1990 годах, в институте ВНИГИК, Мингео СССР, г.Тверь, проводились научные работы, связанные с выявлением участков интенсивной разгрузки подземных вод на территории Тверской области с использованием дистанционных методов. Инициатором этих исследований являлся главный гидрогеолог МГРЭ ПГО «Центрогеология», г.Москва, в 1980-1987годы, к.г-м.н Просеков А.М., но к сожалению они были завершены из-за прекращения их финансирования в 1990 году. Представленная работа является продолжением вышеуказанных научных исследований, но уже с учетом последних данных дистанционного зондирования ИСЗ «Ландсат-5,8» территории Тверской области. При этом основной упор в этой статье делается на практическое использование материалов тепловой космической съемки при решении нашей задачи. Также в данной работе приводится характеристика гидрологических, геологических и гидрогеологических условий исследуемого района, влияющих на формирование минимального меженного и подземного стока в пределах изучаемой территории.



Рис. 1. Обзорная карта Тверской области с выделенным районом исследований

## **История водных исследований по выявлению участков повышенного подземного стока с использованием дистанционных данных, в том числе на территории Тверской области.**

Данные научные исследования имеют определенную предысторию. Поздний советский период – 1980-1990 годы, в нашей стране подобные работы проводились преимущественно для аридной зоны СССР и реже для районов избыточного увлажнения (Садов А.И., Викторов А.С. ВСЕГИНГЕО, Объедков Ю.Л., ИВ ПАН, и другие исследователи). В эти же годы за рубежом проводились аналогичные научные исследования, которые в основном связаны с использованием дистанционных методов при изучении регионального подземного стока на больших территориях [10]. Как известно, проведение тепловой и многозональной космической съемки на территории центральных областей России затруднено из-за большой залесенности, заболоченности данной местности. При этом на качество тепловых снимков наряду с этими факторами часто влияют неблагоприятные погодные условия. Необходимо отметить, что в институте ВНИГИК Мингео СССР, г.Тверь, в период 1987-1990 годов была проведена научно-техническая работа по теме «Выявить участки интенсивной разгрузки подземных вод дистанционными методами на примере Калининской (Тверской) области» [14]. Но в те годы, при проведении данных исследований, был ограниченный выбор материалов космической видеоинформации, особенно ИК-снимков в дальнем диапазоне. Но вместе с тем в этой научно-производственной организации г.Твери, при компьютерной обработке тепловых и многозональных космических снимков был использован редкий по тем временам оптико-электронный комплекс «СВИТ». В тот период аналогичные электронные устройства применялись при обработке космической видеоинформации в ПГО «Аэрогеология», институте ВНИКАМ, (С-Петербург), ИКИ РАН и в других ведущих научных организациях России. Но наступили «кризисные» 90-е годы, в течение которых было резко сокращено финансирование научных дистанционных исследований природной среды в России. Но затем, в нулевые и десятые годы подобные работы были возобновлены в нашей стране [2, 7].

## **Теоретические основы использования ИК-космосъемки в данных исследованиях.**

Возможности многозональной и тепловой космической съемки в географических исследованиях и в других науках о Земле, в последние годы детально описаны в работах сотрудников кафедры картографии географического факультета МГУ – Грищенко М.С., Балдиной Е.А., Зимина М.Г., Кравцовой В.И., [2, 7], а также в публикациях других отечественных и зарубежных ученых [10]. Инфракрасная съемка в дальнем диапазоне позволяет определять интенсивность теплового излучения земных объектов, в том числе водоемов и речных водотоков. Как известно, данная физическая характеристика является довольно изменчивым параметром и ее величина зависит от времени суток и календарного времени года, от прихода солнечной энергии и состояния самого исследуемого природного объекта, которое определяется его физическими и химическими свойствами в момент космической съемки. Так же как и на

других земных объектах, термический режим рек и водоемов отличается непостоянством и динамичностью в отдельные сезоны, в суточном и многолетнем разрезе. Наибольшая температурная изученность характерна для больших рек, крупных озер и водохранилищ [5]. Для малых водотоков в летне-осеннюю межень свойственна более высокая зависимость температуры русловых вод от Т-воздуха из-за лучшей прогреваемости речных водных масс. На крупных водных объектах, к которым относятся большие реки, озера и водохранилища, на температурный режим в летние и осенние месяцы кроме солнечной радиации влияют значительные объемы подземного притока, воды которых имеют более низкую температуру, чем поверхностные воды. В местах разгрузки подземных вод, когда воды из глубоких водоносных горизонтов проникают в поверхностные воды, понижается температура речных и озерных вод, особенно в местах концентрированного или сосредоточенного выхода подземных вод. Такие аномальные участки в пределах водных объектов на тепловых космоснимках дальнего диапазона выделяются более темным фототонном. Согласно предыдущим исследованиям, разница температуры подземных вод – в местах их выхода, и речных вод, в летний период может достигать 5-10 град. и более [14]. При кратковременных похолоданиях или в период продолжительных дождей, которые могут наблюдаться на данной территории в летнее время года, температурные различия поверхностных и подземных вод значительно сглаживаются. Наибольшая разница в температурах водных масс рек, озер, водохранилищ и подземных водоносных горизонтов наблюдается в засушливые летне-осенние периоды. Как известно, неблагоприятные метеорологические факторы – интенсивные атмосферные осадки, высокая облачность, туманы, летние похолодания и т.д., ухудшают условия съемки из космоса и качество фотоизображений. Для лучшей визуализации участков выхода подземных вод, определяемых на тепловых космических снимках, часто используются фотографические методы: переводы позитива в негатив, черно-белого снимка в красный цвет и другие цвета, усиление контрастности изображения и т.д. [10]. Из предыдущих исследований установлено, что температурные аномалии на водных объектах снятых в дальнем диапазоне ИК-съемки, графически могут выглядеть в виде концентрированного или размытого «пятна», тонкой или утолщенной линии, разного по площади темного контура или ареала его распространения [10, 14]. Согласно современным представлениям, очаги интенсивной разгрузки подземных вод характеризуются высокими стоковыми параметрами, когда модули подземного стока в несколько раз или на порядок выше фоновых их значений на других соседних речных участках. При всем этом выделенные зоны интенсивной разгрузки подземных на ИК-космоснимках дальнего диапазона, не всегда могут быть перспективны для организации хоз-питьевого водоснабжения по многим объективным причинам, которые изложил российский гидрогеолог, д.г.-м.н. Грабовников В.А., МГРУ, 1995г. По его мнению, «для организации крупного водозабора из высокодебитных скважин требуются два основных условия: наличие в долине высоко проницаемых и достаточно мощных аллювиальных отложений и величина руслового стока, допускающая изъятие намеченного водоотбора. Более того, если даже очень

мощный очаг разгрузки подземных вод приурочен к участку долины с мало-мощным и [или] глинистым аллювием – ни о каком «месторождении подземных вод» не может быть и речи». Кроме этого, очень часто в природе встречаются локальные участки рек и водоемов, с отдельными выходами родников, «ключей», и где наблюдается обильное «высачивание» подземных вод. Но такие места являются только зонами повышенного подземного стока, т.к. объемы подземного притока здесь не столь значительны, как на участках интенсивной разгрузки подземных вод. Но вместе с этим знание всех аномальных участков повышенного или интенсивного подземного притока в реки и поверхностные водоемы имеет огромное экологическое и природоохранное значение.

### **Просмотр и анализ космических снимков ИСЗ «Ландсат-5,8» в длинноволновом ИК-диапазоне за 1989-2021 годы.**

Очень важным этапом в наших исследованиях является подбор и анализ космических снимков. Как ранее было отмечено, за последние 20-30 лет территория Тверской области была множество раз заснята с российских и зарубежных искусственных космических аппаратов в разных зонах спектра, снимки которых размещены на специальных интернет-порталах и доступны для «скачивания» [9]. В данной работе в основном представлены летние космические снимки ИСЗ «Ландсат-5,8», 1989-2021 годы. Видеоинформация ИСЗ «Ландсат-6,7» нами также просматривалась, но не была востребована в наших исследованиях, поскольку нас устраивала по техническим параметрам космическая съемка ИСЗ «Ландсат-5,8». Известно, что качество тепловых космических снимков во многом зависит от метеорологических условий в момент съемки и в предшествующий период, и поэтому многие ИК-фотоснимки по этим причинам нами отбраковывались и не были использованы в нашей работе.

### **Просмотр и анализ тепловых космических снимков Ландсат-5. Первый этап.**

При анализе первых космических ИК-снимков ИСЗ «Ландсат-5», представленных на интернет-портале: <http://gis-lab.infocom>, которые охватывают юго-восточную часть территории Тверской области (рис. 1), четко выделяются по темному фотону крупные водные объекты – река Волга, и волжские водохранилища, а также отдельные Оршинско-Петровские озера (рис. 2, 3), с некоторым различием тональности по их длине или по площади водной акватории. При этом на первом фотоснимке, снятым в июле 1990 года (рис. 2), крупные водные объекты выглядят более контрастными, чем на втором тепловом КС, который получен в августе 1990 года (рис. 3). На представленных ИК-снимках, снятых в жаркое засушливое лето 2010 года, отчетливо выделяются река Волга и волжские водохранилища, а также крупные озера (рис. 4а, 4б). На этих космических фотографиях преобладают более светлые тона. Следует также отметить, что на всех используемых нами в этой работе космических снимках ИСЗ «Ландсат-5» в тепловом дальнем диапазоне не были выявлены ранее известные небольшие участки выхода глубоких подземных вод на реках Тьма и Тверца (рис. 2, 3, 4а, 4б), т.к. разрешение тепловой съемки этого

спутника составляет около 100м. Для наглядности в этой работе приводятся фото и обзорные снимки из космоса участков рек Тьма и Тверца, где выявлены температурные аномалии речных и грунтовых вод летом 1990 года (рис. 5, 6).

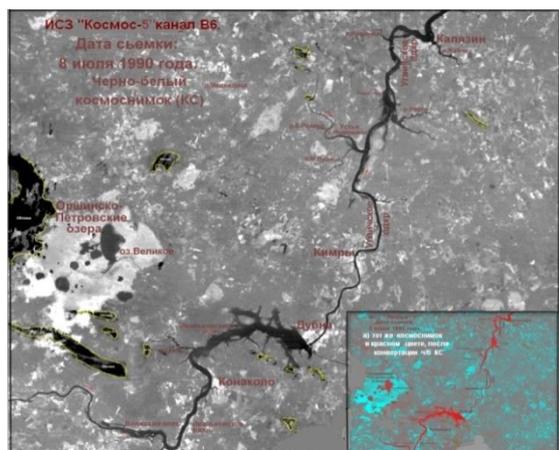


Рис. 2. Тепловой космический юго-восточной части Тверской области. ИСЗ «Ландсат-5, канал В 6,  $\lambda\lambda = 10,4-12,5$  мкм. Черно-белый цвет. Дата съемки: 8 июля 1990 года. Рисунок-вставка: а) тот же космоснимок после конвертирования в красный цвет

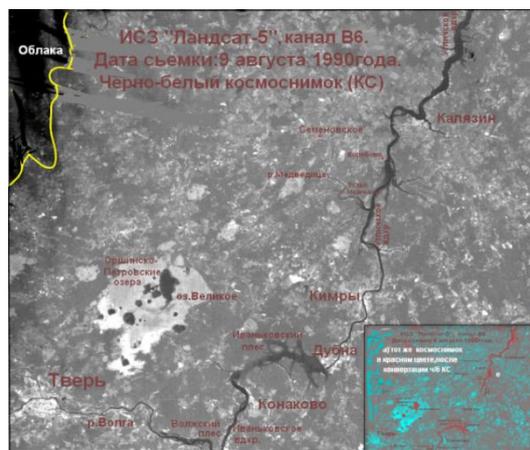


Рис. 3. Тепловой космический снимок юго-восточной части Тверской области. ИСЗ «Ландсат-5, канал В 6,  $\lambda\lambda = 10,4-12,5$  мкм. Черно-белый цвет. Дата съемки : 9 августа 1990года. Рисунок-вставка: а) тот же космоснимок после конвертирования в красный цвет

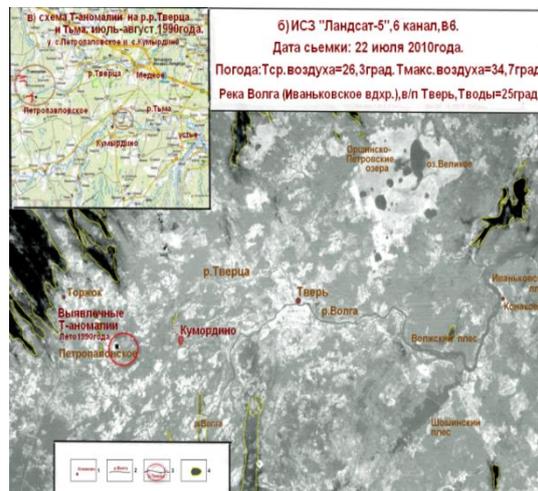
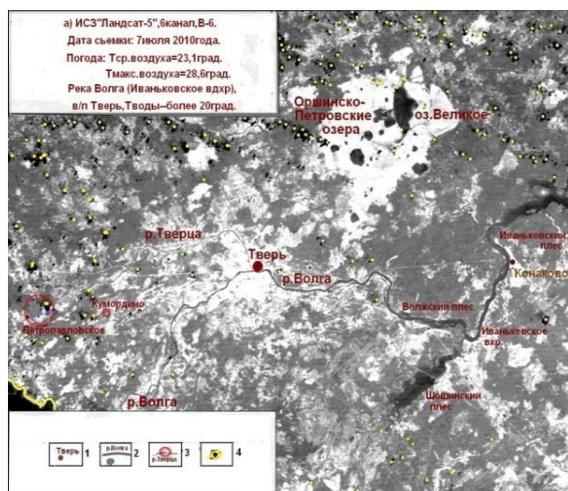


Рис. 4. Тепловые космические снимки юго-восточной частей Тверской области в период аномально жаркого лета 2010 года. ИСЗ «Ландсат-5», 6канал,  $\lambda\lambda = 10,4-12,5$  мкм. а) дата съемки : 7 июля 2010года; б) дата съемки : 22 июля 2010года. Условные обозначения: 1-населенные пункты; 2-реки и озера; 3-участки рек Тверцы и Тьмы, где ранее выявлены температурные аномалии, июль-август 1990года; 4-облака. Рисунок-вставка: в) схема Т-аномалий на р.р. Тверца и Тьма, июль – август 1990года. Институт ВНИГИК. Мингео СССР, г.Тверь. В красном кружке выделены локальные зоны низких температур речных и грунтовых вод



Рис. 5. Река Тьма, вид из космоса. Участок реки ниже а/д моста у д. Тутань, с выявленными температурными аномалиями речных и грунтовых вод (красный цвет), июль-август 1990года. Рисунок-вставка: а) фотоснимок ложбины (депрессии) на р.Тьма, правый берег, вблизи с.Кумордино

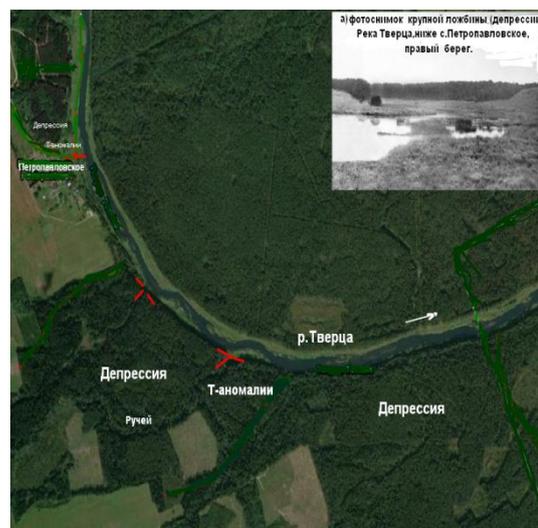


Рис. 6. Река Тверца, вид из космоса. Речной участок ниже с. Петропавловское, с выявленными температурными аномалиями речных и грунтовых вод (красный цвет), июль-август 1990года. Рисунок-вставка: а) фотоснимок крупной ложбины (депрессии) на р.Тверца, правый берег, вблизи с.Петропавловское

### Просмотр и анализ тепловых космических снимков ИСЗ «Ландсат-8». Второй этап.

После вывода на орбиту ИСЗ «Ландсат-8» в феврале 2013 года, который функционирует по настоящее время, появились приемлемые для наших исследований космоснимки в дальнем ИК-диапазоне, представленные на сайте: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Улучшение качества тепловой съемки с этого спутника Земли способствовало то обстоятельство, что на его борту был установлен современный сканирующий двухканальный ИК-радиометр TIRS. В процессе нашей работы было просмотрено и проанализировано множество ИК-снимков ИСЗ «Ландсат-8», представленных на сайте: <https://gis-lab.infocom>. Но в конечном итоге нами была использована одна из таких многочисленных ИК-съемок нашей территории ИСЗ «Ландсат-8», выполненная в июне 2020 года (рис. 7). На этих фотоснимках, даже при наличии высокой облачности в отдельных их частях, отчетливо выделяются разные по площади и по своему простираению температурные аномалии на следующих водных объектах.

**Река Тифина.** На этом водном объекте зоны температурных аномалий на черно-белых космоснимках отчетливо прослеживаются в виде темной тонкой линии на протяженных речных участках: д.Медведково – д.Скирки, у д.Лухново и у с.Трестна (рис. 7). В конечном итоге получается, что этот водоток, при частых выходах подземных вод в русловой части и пойме реки, одновременно характеризуется низкими значениями минимального меженного и подземного стока (табл. 2). Противоречивость данной ситуации можно объяснить тем, что р.Тихвина либо дренирует низкопродуктивные водоносные горизонты четвертичных и пермских отложений (рис. 35, 36), либо на этих

аномальных участках данной реки существует подрусловой сток, который не определяется гидрометрическими методами. Согласно литологическим данным, русло и пойма реки Тифины на этом аномальном участке реки, в районе д.Медведково, сложены песками аллювиальных и ледниковых отложений значительной мощности (рис. 36). Но в любом случае подрусловой сток на этом водотоке не столь значителен, как на больших и средних реках, и если его величину суммировать с измеренным минимальным меженным стоком, то общая расчетная характеристика подземного стока по-прежнему будет не очень большой. При анализе схемы гидроизогибс подольско-мячковского водоносного горизонта этого района, то можно заметить, что река Тихвина не оказывает дренирующего влияния на глубокие подземные воды, которые двигаются в сторону Мологи (рис. 30б). В будущем, для подтверждения этих научных версий, необходимо провести детальную гидрометрическую съемку, термометрические исследования, гидрохимическое опробование речных и подземных вод в этом районе.

**Река Медведица.** На этой реке небольшие по площади температурные аномалии речных и грунтовых вод на летнем ИК-космоснимке 2020 года отмечены на следующих ее участках: у устья р.Сельница – вблизи д.Замытье, и в районе устья р.Кушалка – возле д. Медведиха (рис. 7). Известно также, что меженный сток на данном водотоке, так же как на реке Тифина, характеризуется невысокими значениями (табл. 2), и поэтому выявленные температурные аномалии на реке Медведица можно идентифицировать как локальные участки повышенного подземного притока, но не как зоны интенсивной разгрузки подземного стока.

#### **Река Молога, верхнее течение, в районе г.Бежецка.**

В летний период на этом водотоке в местах выше г.Бежецка и в районе оз.Верестово, на ИК-снимках в дальнем диапазоне наблюдаются значительные температурные аномалии речных вод, что свидетельствует о значительном выклинивании здесь подземных вод (рис. 7, 12, 13). Согласно гидрогеологическим данным, эти выходы вод из глубоких водоносных горизонтов приурочены к глинистым ледниковым отложениям (рис. 40), что не способствует формированию здесь больших запасов подземных вод. Также известно, что река Молога в верхнем течении, на участке исток – в/п Ильицино, характеризуется низкими значениями меженного стока, по причине незначительного подземного притока из глубоких малопродуктивных водоносных горизонтов четвертичных и пермских отложений. Необходимо отметить, что в настоящее время в г.Бежецке и Бежецком районе наблюдается дефицит водных ресурсов для хоз-питьевого водоснабжения. Вместе с этим речной сток р.Мологи ниже в/п Ильицино, зарегулирован небольшими озерами и водохранилищами, и по этой причине невозможно определить подземный сток на этом участке реки, используя традиционные гидрометрические методы. Следует также указать, что общая минерализация русловых вод реки Молога при очень малых меженных расходах воды, у в/п Ильицино, довольно высокая – более 800мг/л, что присуще для глубоких подземных вод.

### **Просмотр и анализ тепловых космических снимков ИСЗ «Ландсат-8». Третий этап.**

В процессе нашей работы на предыдущем этапе исследований были использованы космовидеоматериалы ИСЗ «Ландсат-8», представленные на сайте: <https://earthexplorer.usgs.gov/> [9]. На следующем третьем этапе научных изысканий, зоны температурных аномалий на водных объектах, выявленные на космических фотографиях в дальнем ИК-диапазоне, снятые в июне 2020 года, подтвердились повторно в тех же местах на реках Тифина, Медведица и Верхняя Молога, но уже при использовании других разновременных космоснимков ИСЗ «Ландсат-8» этого района (рис. 8, 9, 10, 12, 13), полученных с другого интернет-портала: <https://apps.sentinel-hub> [9]. На этом информационном сайте представлено множество других космоснимков этого спутника Земли в ИК-диапазоне (красный цвет) для нашей территории за разные годы, которые использованы в нашей работе (рис. 10, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19), и где выявляются температурные аномалии на других участках рек и водоемов исследуемого района.

#### **Река Медведица, среднее и нижнее течение, участок с.Замытье – пос.Верхняя Троица.**

На всем протяжении этого участка р. Медведицы на представленном тепловом ИК-снимке четко выделяется речное русло, но отсутствуют темные контрастные тона, за исключением ранее выделенной Т-аномальной зоны у с. Замытья (рис. 10). На этом космоснимке визуально определяется устье реки Дрезны – притока р.Медведицы. Здесь же в период полевого обследования летом 1990 года, были обнаружены карстовые воронки, которые находились на участке места пересечения ранее выделенного линеамента (МОМКАГЭ ПГО «Аэрогеология», 1990 г.) с рекой Медведица (рис. 11, 11а).

#### **Река Молога, верхнее и среднее течение, участок с.Ильцино – п.Максатиха.**

На летних ИК-снимках, представленных на сайте: <https://apps.sentinel-hub>, по-прежнему хорошо выделяются температурные аномалии на р.Молога вблизи г.Бежецка и в районе озера Верестово (рис. 12, 13). Но в то же время русло этой реки на тепловом ИК совершенно не прослеживается на участке: оз.Вересово – с.Боровское (рис. 13). На нижних участках мологского водотока ее водная акватория выглядит на ИК-фотоснимках слабо контрастной или «размытой» даже в жаркое лето 2021 года. В тоже время летний меженный сток р. Мологи в районе пос. Максатиха, не так и мал и составляет в среднем:  $Q > 7 - 10 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Более многоводной эта река становится ниже оз.Верестово, после места впадения р.Осень, с большими своими притоками – р.Мелеча и р.Могоча (рис. 13). По этой причине водная акватория реки Молога – ниже устья этого мологского притока, должна заметно выделяться на летних ИК-космоснимках, что в действительности не происходит. Данное обстоятельство может свидетельствовать о более «прогретых» и возможно застойных водах р.Осени, которые обильно подпитывают реку Молога ниже оз.Вересово. Можно также предположить, что на этом мологском участке: устье р.Осень – д. Боровское, доля грунтовых вод в общем подземном питании этой реки

весьма значительна, и при этом эти воды имеют более высокую температуру, чем глубокие подземные воды. К этому стоит добавить, что карта гидроизопьез по этому району свидетельствует о разгрузке глубоких подземных вод на этом участке реки Молога (рис. 30, рис. 30б). В конечном итоге все наши высказанные научные версии требуют проверки в полевых условиях.

#### **Иваньковское водохранилище.**

На всех летних тепловых космоснимках Иваньковского водохранилища, четко выделяется по темному фототону основная часть контуров Иваньковского, Волжского и Шошинского плесов (рис. 2, 3, 14), в том числе они хорошо заметны в период жаркого и засушливого лета 2010 года (рис. 4). Но очертания этих крупнейших заливов Иваньковского водохранилища на представленных тепловых КС не всегда совпадают с размерами на топографической карте (рис. 14а). При этом отдельные малые заливы и затоны совершенно не фиксируются на тепловых КС. К примеру, не полностью выявляются вся горловина Шошинского залива, залив омывающий остров Низовка, а также Мешковский затон, куда сбрасываются теплые воды с Конаковской ГРЭС (рис. 14б). Кроме этого, Волжский плес на участке: с.Городня – о.Низовка, нечетко выражен на ИК-снимке дальнего диапазона (рис. 14). На всех приведенных тепловых фотоснимках абсолютно не фиксируются устья рек Лама, Шоша, Инюха. Исключением является р.Созь в нижнем своем течении, русло которой хорошо просматривается на тепловых КС. Следует отметить, что Шошинский плес является очень мелководным заливом, с глубинами – Нср.=1,5-2м., и если бы не значительный приток глубоких подземных вод, то его водные массы лучше прогрелись солнечной энергией в летний период, чем на соседних более глубоких волжских плесах, и имели при этом более светлые тона на ИК-снимках.

#### **Река Волга (Угличское водохранилище), участок: г.Дубна – г.Кимры – пос.Белый Городок.**

Данный участок Угличского водохранилища согласно представленного теплового КС, снятого в июле 2021 года, характеризуется темным фоном, при отсутствии заметных очень контрастных зон по длине этого крупного водоема (рис.15).

#### **Река Волга (Угличское вдхр.), участок: с.Селище – устье р.Медведица – г.Калязин.**

На этом участке Угличского водохранилища на двух ИК-снимках, снятых в июль-месяце 1989 и 2021 годов, отчетливо выделяются постоянные крупные контуры температурных аномалий, расположенные в трех местах: в районе устья р.Медведицы и ниже места впадения этого волжского притока, а также вблизи г.Калязина (рис. 16, 17). На вставке (рис. 16а), где представлен ИК-снимок устья Медведицы, снятый в июне 2020 года, русло этого волжского притока отчетливо выражено на участке – от ее устья и почти до с.Семеновское, при значительной глубине его эрозионного вреза в этих местах. Ранее, в июле 1989года, при проведении космической тепловой съемки с ИСЗ «Космос 1939», были выявлены большие площади с температурными аномалиями в низовьях р.Медведицы, вблизи с.Семеновское, где существует подпор от Угличского вдхр (рис. 17). Данные аномальные зоны были

идентифицированы как выходы глубоких подземных вод [14]. Как выяснилось позднее, это не совсем так, а именно: на момент космической съемки, которая проводилась в период дождливого лета 1989 года (табл. 1), на значительной территории – вблизи устья р.Медведицы, наблюдалось интенсивное выклинивание грунтовых вод, при обильном их подпитывании атмосферными осадками (рис. 17, 17а). В последующие десятилетия, такие явления в теплый период года на этой территории могли наблюдаться не каждый год, если судить по другим ИК-снимкам исследуемого района (рис. 16а).

#### **Район Оршинско-Петровских озер.**

В пределах района Оршинско-Петровской озерной системы на летне-осенних черно-белых ИК-космоснимках большинство крупных озер выделяются темным цветом (рис. 7, 18), что свидетельствует о наличии значительного притока глубоких подземных вод в эти водоемы. Но на некоторых озерах (оз.Великое, оз.Светлое), наблюдается более контрастные зоны, сопоставимые по плотности фототона с такими аномальными участками на реке Волга и волжских водохранилищах. Предположительно, что на всех этих водных объектах происходит интенсивная разгрузка подземных вод (рис. 18). При анализе схемы движения глубоких подземных вод этого района можно сделать вывод, что некоторые крупные озера – оз.Великое, оз.Светлое и т.д., дренируют значительную часть глубокого подземного потока, сформированного на очень большой площади, в пределах выделенного нами подземного водосбора №1, который также включает верхнюю часть речного бассейна Верхней Медведицы (рис. 30, 31). Как известно, большинство Оршинско-Петровских озер, расположенных на площади крупного болотного массива «Оршинский Мох», являются мелководными водоемами. В частности, на оз.Великое и оз.Светлое средняя глубина составляет – Нср.=1,5м., максимальная – до 3-4 м. Поэтому на этих больших и мелководных озерах может отсутствовать летняя вертикальная температурная стратификация, которая характерна для глубоких водоемов, и когда температуры поверхностных и придонных слоев озерных вод могут значительно отличаться [5]. Согласно ранее проведенному линеamentному анализу многозональных КС, некоторые выделенные фотолинеamentы пересекают район Оршинско-Петровских озер, что может свидетельствовать о возможных тектонических нарушениях в пределах данной территории (рис. 42, 45).

#### **Река Тверца, район вблизи сел. Петропавловское.**

Как ранее было отмечено, на этой реке у с. Петропавловское, в июле-августе 1990 года были выявлены температурные аномалии речных и грунтовых вод (рис. 6). Но на тепловых космических снимках ИСЗ «Ландсат-5» снятых в летний период 1990 и 2010 годов, их местоположение не было выявлено. На другом более позднем ИК- снимке ИСЗ «Ландсат-8», снятом в июне 2014 года, обширная аномальная зона на реке Тверца в районе с.Петропавловское, отчетливо заметна (рис. 19).

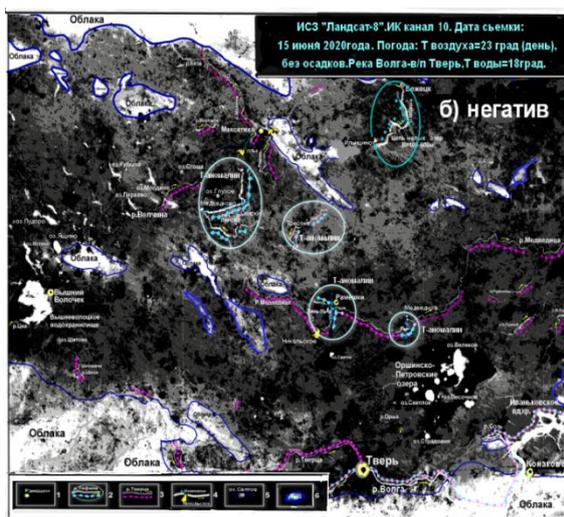
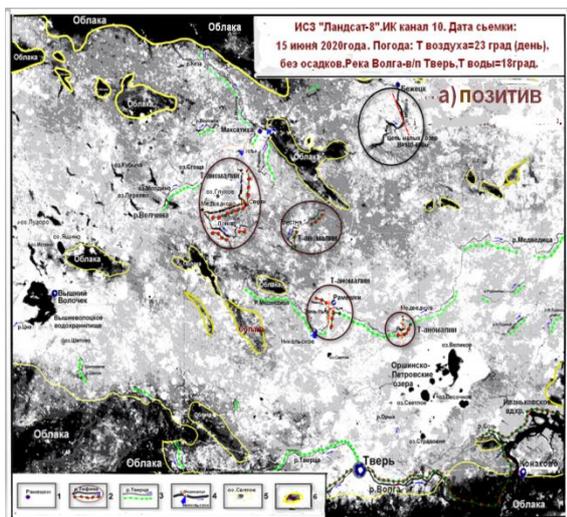


Рис. 7. Тепловой космический снимок центральной, юго-восточной, и частично северной и северо-восточной частей Тверской области. ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, черно-белый КС. Дата съемки: 15 июня 2020 года. а) позитив; б) негатив. Условные обозначения: 1 – населенные пункты; 2 – участки рек с повышенным подземным притоком, выделенные по высокой плотности фототона; 3 – участки рек с невысоким подземным притоком, выделенные по средней плотности фототона; 4 – пункты наблюдений за речным стоком; 5 – озера; 6 – облака

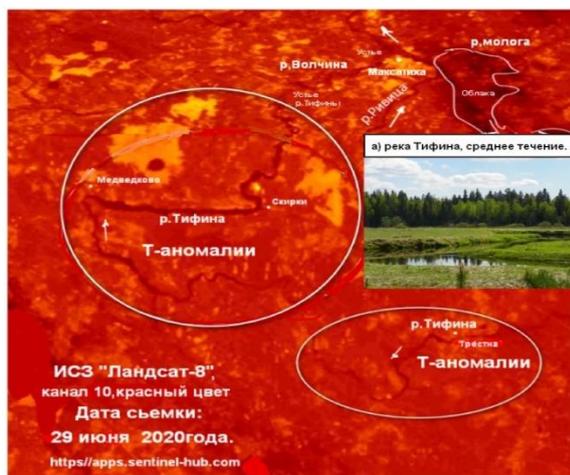


Рис. 8. Тепловой космический снимок реки Тихвина с выявленными Т-аномалиями речных вод: у с.Трестна и на участке д.Медведково- д.Скирки. ИСЗ «Ландсат-8», 10канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки : 29 июня 2020 года. Рисунок-вставка: а) фотография реки Тифина, среднее течение

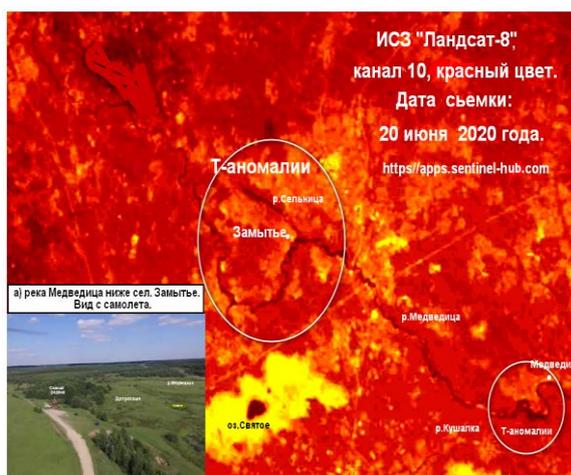


Рис. 9. Тепловой космический снимок реки Медведицы с выявленными Т-аномалиями речных вод: у с.Замытье, и у устья р.Кушалка – вблизи д.Медведиха. ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки : 20 июня 2020 года. Рисунок-вставка: а) фотография реки Медведица ниже с.Замытье. Вид с самолета

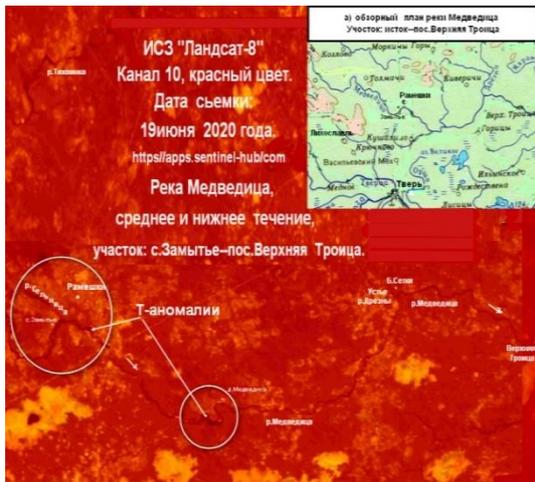


Рис. 10. Тепловой космический снимок среднего и нижнего участка реки Медведицы: с.Замытье – пос. Верхняя Троица. ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал.  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки : 19 июня 2020 года. Рисунок-вставка: а) обзорный план реки Медведица. Участок: исток–пос. Верхняя Троица

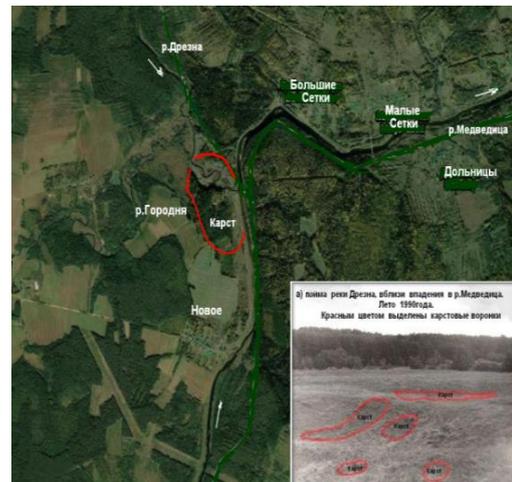


Рис. 11. Река Медведица в районе устья р.Дрезна. Вид из космоса. Рисунок-вставка: а) фотография устьевое участка реки Дрезна, vicinity впадения в р.Медведица. Лето 1990 года. Красным цветом выделены карстовые воронки

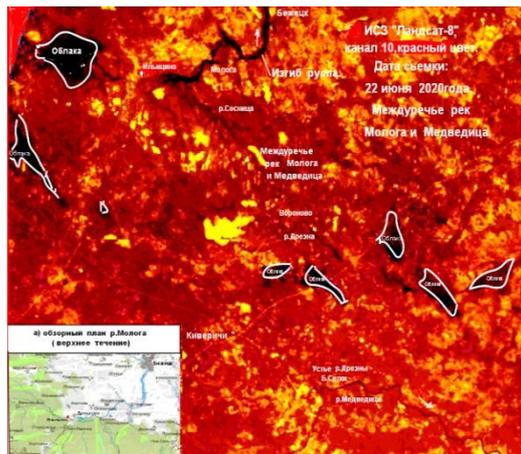


Рис. 12. Тепловой космический снимок Верхней Мологи и района междуречья рек Молога и Медведица (по линии с.Ильицино – с. Б.Сетки). ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки : 22 июня 2020 года. Рисунок-вставка: а) обзорный план р.Молога (верхнее течение)

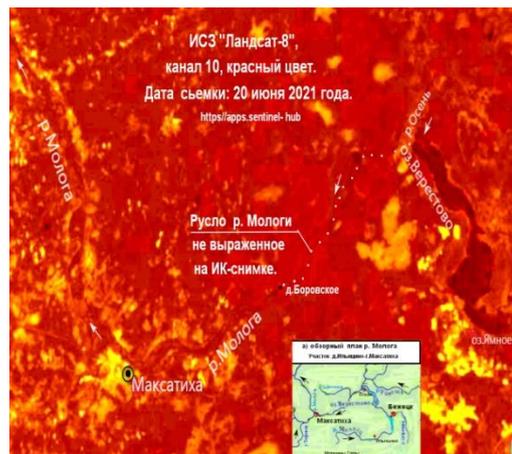


Рис. 13. Тепловой космический снимок реки Мологи, верхнее и среднее течение, Участок: в/п Ильицино-г.Максатиха. ИСЗ «Ландсат-8», 10канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки : 20 июня 2021 года. Рисунок-вставка: а) обзорный план р.Молога. Участок: д.Ильицино – г.Максатиха

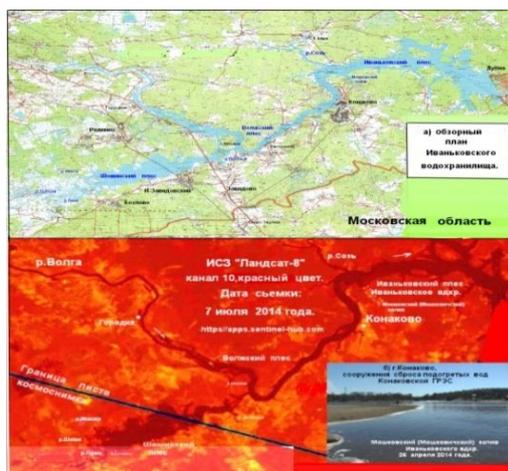


Рис. 14. Тепловой космический снимок района Иваньковского водохранилища. ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки : 7 июля 2014 года. Рисунки-вставки: а) обзорный план Иваньковского вдхр.; б) фотография места сброса подогретых вод Конаковской ГРЭС в Мошковский залив Иваньковского вдхр

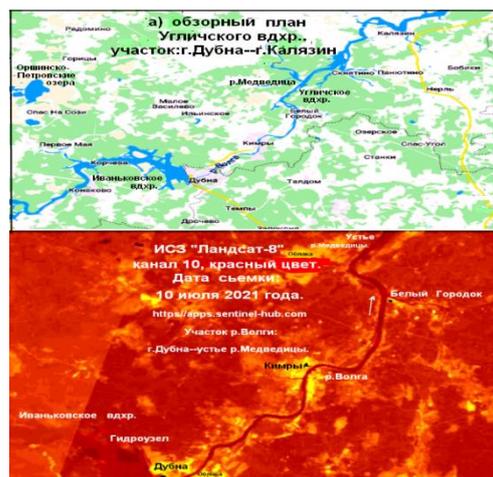


Рис. 15. Тепловой космический снимок реки Вол (Угличское водохранилище) на участке: г.Дубна – устье р.Медведицы. ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки : 10 июля 2021 года. Рисунок-вставка: а) обзорный план реки Угличского вдхр. участок: г.Дубна – г.Калязин

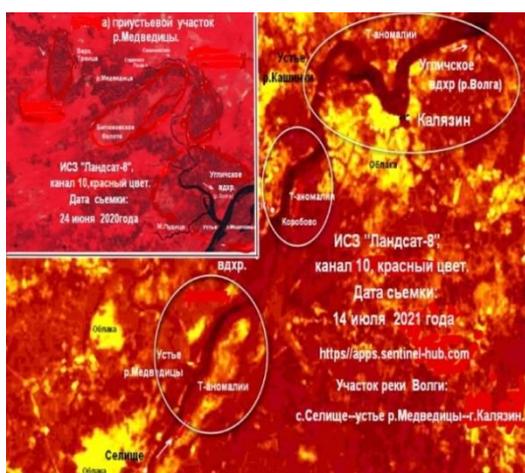


Рис. 16. Тепловой космический снимок района реки Волга (Угличское водохранилище) на участке: с.Селище – устье р.Медведица – г.Калязин. ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки: 14 июля 2021 года. Рисунок-вставка: а) тепловой космический снимок приустьевой части реки Медведица. ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал. Дата съемки : 24 июня 2020года

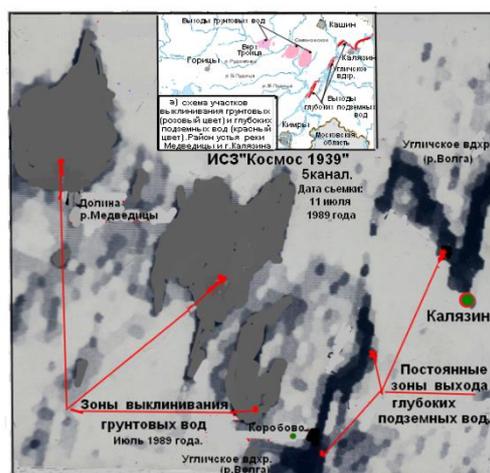


Рис. 17. Тепловой космический снимок района устья реки Медведицы и р.Волга (Угличское вдхр.) у г.Калязина. ИСЗ «Космос-1939», 5 канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,8$  мкм. Дата съемки: 11 июля 1989 года. Рисунок-вставка: а) схема участков выклинивания грунтовых (розовый цвет) и глубоких подземных вод (красный цвет). Район Угличского водохранилища, вблизи г.Калязина и устья р.Медведицы

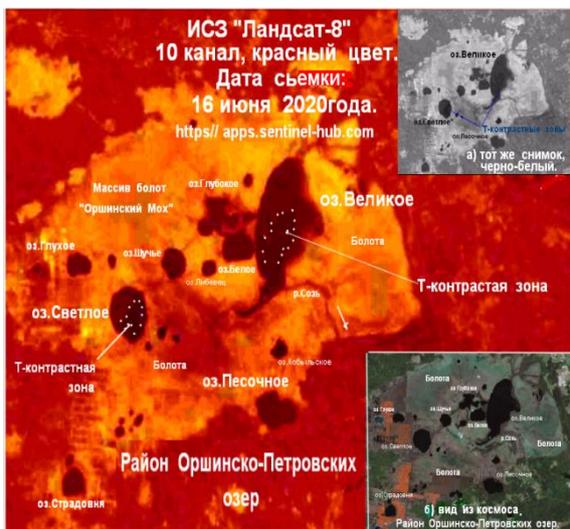


Рис. 18. Тепловой космический снимок района Оршинско-Петровских озер. ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки : 16 июня 2020 года. Рисунки-вставки: а) тот же снимок, черно-белый б) вид из космоса района Оршинско-Петровских озер

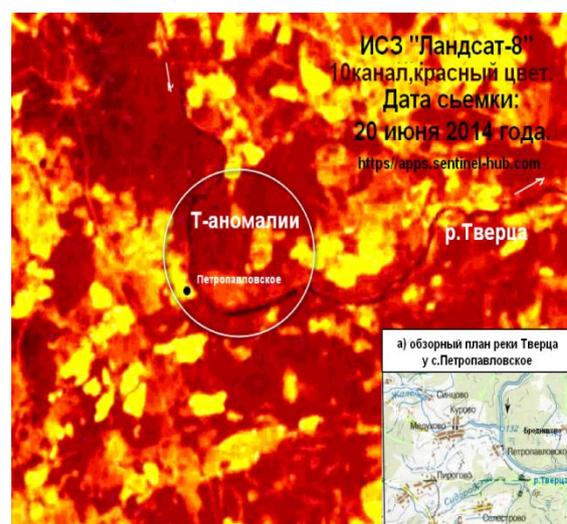


Рис. 19. Тепловой космический снимок реки Тверца, вблизи с.Петропавловское. ИСЗ «Ландсат-8», 10 канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм, красный цвет. Дата съемки : 20 июня 2014 года. Рисунок-вставка: а) обзорный план реки Тверца у с. Петропавловское

### Выявление крупных переувлажненных территорий на многозональных космических снимках.

Как известно, на многих летне-осенних многозональных космических снимках отчетливо выделяются территории с большим увлажнением почв-грунтов и высоким стоянием УГВ, где возможно происходит интенсивное выклинивание грунтовых вод. Наиболее информативными материалами для этих целей могут быть фотоизображения из космоса с наложением отдельных каналов видимого спектра (рис. 20), или черно-белые и цветные летние КС одного спектрального канала (рис. 21). На представленных двух многозональных космоснимках (рис. 20, 21), отчетливо выявляются увлажненные территории в устьях рек Медведица и Нерль, в междуречье рек Медведицы и Мологи – по линии с.Ильцино – устье р.Дрезна, у с. Б.Сетки., а также вблизи г.Твери, в междуречье рек Волги, Тьмы, Тверцы, и в устье р.Шоши. При анализе обширного переувлажненного массива, расположенного в устьях рек Медведица и Нерль, выясняется, что его контуры коррелируются с очертаниями больших участков с полуболотным типом почв на почвенной карте Тверского региона (рис. 22), и совпадают с границами низин выделенных на геоморфологической карте Тверской области» (рис. 23).

Таблица 1

**Метеорологические условия на момент проведения космической съемки и в предшествующий период, м/ст. Тверь**

| Климатическая характеристика                            | Спутник, дата съемки                               |  |  |   |   |   |   |  |
|---|--|--|--|---|---|---|---|--|
|   | ИСЗ «Космос-1939»                                  | ИСЗ «Ландсат-5»  |  |   | ИСЗ «Ландсат-8»   |   |   |  |
|   | 11 июля 1989 года.                                 | 22 июля, 5 августа 1990года.   | 12 июня 1998 года                                | 22 июля 2010 года.                                | 20 июня, 7 июля 2014 года, ИСЗ «Ландсат-8»                                  | 7 июля 2015 года.   | 15,16,19, 20, 22 июня 2020 года.                  | 10,14 июля 2021 года.  |
| Средне-месячная температура воздуха, T <sup>0</sup> ср. | Июнь: 19,4 <sup>0</sup><br>Июль: 18,3 <sup>0</sup> | Июнь:14,1 <sup>0</sup><br>Июль:16,8 <sup>0</sup><br>Август:15,7 <sup>0</sup> | Май: 13,1 <sup>0</sup><br>Июнь:19,2 <sup>0</sup> | Июнь: 17,9 <sup>0</sup><br>Июль:24,9 <sup>0</sup> | Май: 15,1 <sup>0</sup><br>Июнь:15,3 <sup>0</sup><br>Июль: 20,0 <sup>0</sup> | Май:12,9 <sup>0</sup><br>Июнь:16,9 <sup>0</sup><br>Июль:17,1 <sup>0</sup> | Май: 10,5 <sup>0</sup><br>Июнь: 18,6 <sup>0</sup> | Май:6<br>13,4 <sup>0</sup><br>Июнь:<br>19,9 <sup>0</sup><br>Июль:<br>21,2 <sup>0</sup> |
| Месячная сумма осадков, X мм                            | Июнь: 84 мм<br>Июль: 132 мм                        | Июнь:58 мм<br>Июль: 236 мм.<br>Август:85 мм                                  | Май: 115 мм<br>Июнь:139 мм                       | Июнь: 60 мм<br>Июль: 11 мм                        | Май: 51 мм<br>Июнь: 61 мм.<br>Июль:58 мм                                    | Май: 91 мм<br>Июнь: 36 мм   | Май:104 мм.<br>Июнь:85 мм.                        | Май:<br>35 мм<br>Июнь:<br>104 мм<br>Июль:<br>22 мм                                     |

Примечание. Метеоданные приведены для космической съемки ИСЗ «Ландсат-5,8» и ИСЗ «Космос-1939», фотоматериалы которых использованы в нашей работе.

Используемые нами картографические материалы приводятся в «Атласе Калининской (Тверской) области», ГУГК, 1964год [1]. Другой крупный массив с высоким стоянием УГВ, расположенный в междуречье рек Молога и Медведица (рис. 10, 20), отличается по своим геоморфологическим и почвенным условиям от устьевых участков рек Медведица и Нерль. Во-первых, на данной территории, в пределах водораздельной части бассейнов рек Молога и Медведица расположены преимущественно возвышенности (рис.24), что не приводит здесь к застою поверхностных вод. Во-вторых, в этой местности преобладают песчаные и супесчаные почвы, обладающие повышенной водопроницаемостью (рис. 22). В-третьих, в соответствии со схемой гидроизопьез, глубокие подземные воды двигаются в направлении: в/п Ильицино – в/п Б.Сетки, в пределах территории, где расположен этот переувлажненный земельный массив (рис. 20, 30). Причем этот подземный водный поток пересекает речные водоразделы этих водотоков и захватывает территорию бассейна р.Дрезна. Затем эти глубокие подземные воды, после пересечения с рекой Медведица в районе в/п. Б.Сетки и с.Шумилово, продолжают свое движение в сторону Волги (рис. 30). При всем этом выделенный район междуречья рек Молога и Медведица, на многозональных снимках выражен темно-серым цветом, что говорит о повышенной влажности почв-грунтов в этих местах (рис. 20). Вместе с этим на тепловых космических снимках этого района часто присутствуют разрозненные темные фототона (рис. 12), поэтому можно предположить, что здесь происходит «рассеянная» разгрузка подземных вод.

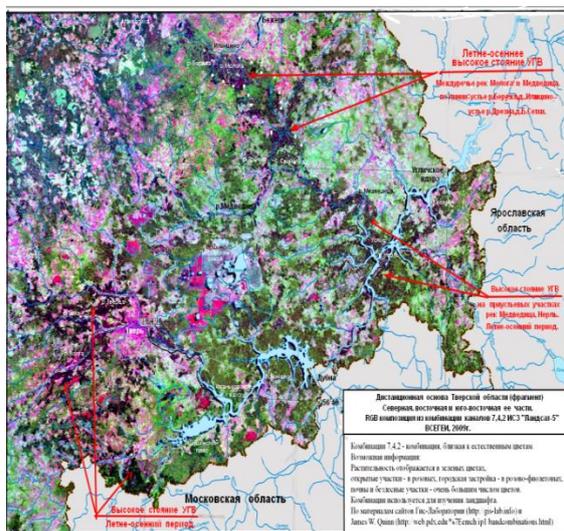


Рис. 20. Дистанционная основа Тверской области (фрагмент). Центральная, юго-восточная, северная и северо-восточная ее части. ИСЗ «Ландсат-5», комбинация каналов 7, 4, 2. ВСЕГЕИ. 2009 год



Рис. 21. Летний многозональный космический снимок устья реки Медведицы. ИСЗ «Ландсат-5», канал 2, (зеленый). Дата съемки : 12 июня 1998 года

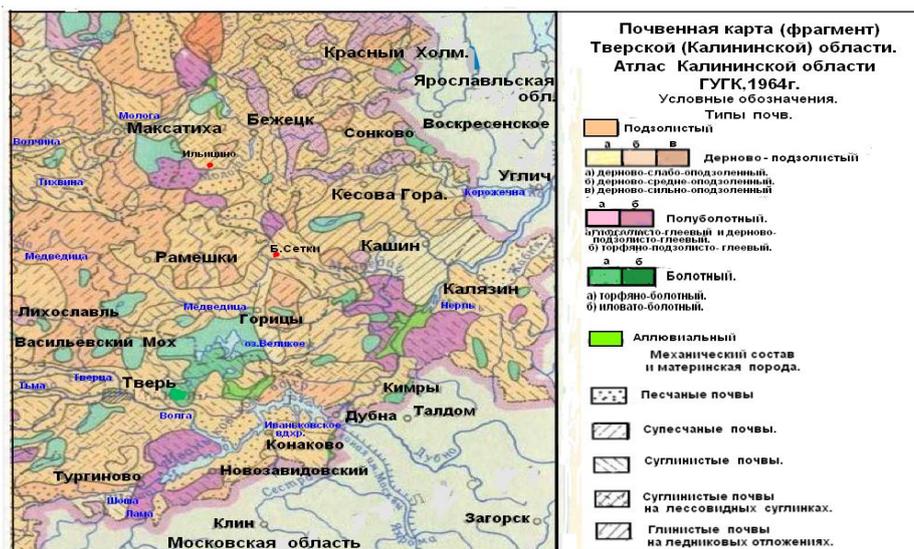


Рис. 22. Почвенная карта Тверской области (фрагмент). Центральная, юго-восточная, северная, северо-восточная ее части. Атлас Калининской области. ГУГК, Москва. 1964 год

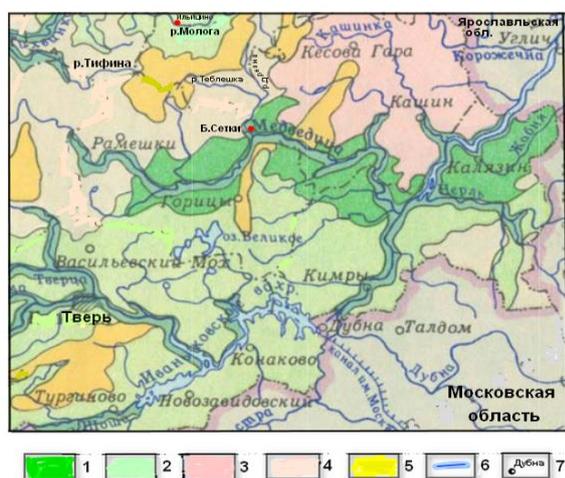


Рис. 23. Геоморфологическая карта Тверской области (фрагмент). Центральная, юго-восточная ее части. Данные из «Атласа Калининской (Тверской) области». Геоморфологические районы: 1-низины с прерывистым залеганием песка; 2-низины высотой до 150м; 3-моренные равнины; 4-сглаженный рельеф до 200м; 5-моренные гряды; 6-разработанные речные долины; 7-города, населенные пункты



Рис. 24. Физическая карта Тверской области (фрагмент). Центральная, северная, северо-восточная и юго-восточная ее части

### Выявление временных водотоков и повышенного подземного притока в реки и водоемы с использованием весенних и зимних многозональных снимков.

В данной работе представлен весенний многозональный снимок ИСЗ «Sentinel 2L2C» ЕКА, с комбинацией каналов 11,8,2 (рис.25). На нем отчетливо проявляется временная протока соединяющая Битюковское болото с рекой Медведица. Причем, выявленный малый водоток на весеннем космическом снимке, где также возможен скрытый подрусловой сток, почти не отображен на топографической карте этого района (рис. 25а). При использовании

зимних многозональных снимков в наших исследованиях, можно косвенно определить интенсивность подземного притока в отдельные реки и водоемы по наличию или отсутствию ледяного покрова. Но при этом надо учитывать отдельные естественные и искусственные факторы, влияющие на ледовый режим водных объектов: наличие перекатов и быстотоков, сбросы теплых хозяйственных стоков, сработка водохранилища, большие попуски из верхних водоемов и т.д. На приводимом зимнем космическом снимке ИСЗ «Sentinel 2L1C», с комбинацией каналов 11, 8, 2, наблюдаются незамерзающими Волжский и Иваньковский плесы Иваньковского водохранилища, а также водная акватория Угличского водохранилища, начиная от устья реки Медведицы до г.Калязин и ниже по течению (рис. 26). Отчасти это связано с большим подземным притоком в эти крупные водные водоемы. Но при всем этом необходимо учитывать режим работы гидроузлов этих крупных водохранилища, влияющий на процесс ледообразования.

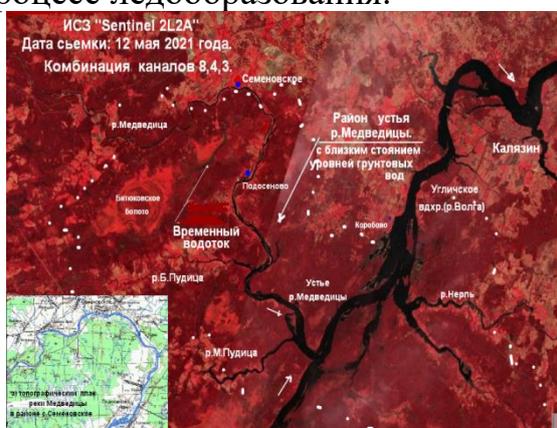


Рис. 25. Весенний космический снимок приустьевой части реки Медведицы. ИСЗ «Sentinel 2L2A», ЕКА. Комбинация каналов 8,4,3. Дата съемки :12 мая 2021 года. Рисунок-вставка: а) топографический план реки Медведицы в районе с. Семеновское Тверской области



Рис. 26. Зимний космический снимок центральной, северо-восточной и юго-восточной частей Тверской области. ИСЗ» Sentinel 2L 1C», ЕКА. Комбинация каналов 11, 8, 2. Дата съемки : 10 декабря 2020 года. Рисунок-вставка: а) средние даты замерзания отдельных плесов Иваньковского водхр. Период наблюдений: 1946-1969 гг. Данные УГМС,1975г.

### Гидрологические, геологические и гидрогеологические условия исследуемого района.

В представленной работе приводится краткая характеристика гидрологических, геологических и гидрогеологических условий изучаемой территории, которые влияют на формирование подземного стока на описываемой территории. Как известно, в данном районе большинство рек характеризуется низким подземным притоком и невысокими значениями летнего и зимнего стока, где модуль подземного и минимального зимнего 30-дневного стока составляет:  $g_s = 0,3-1,1$  л/сек км<sup>2</sup> (табл. 2, рис. 27а, 27б). Невысокие характеристики подземного и меженного стока этих рек обусловлены слабым подземным питанием в периоды низкого стока, неблагоприятными гидрогеологическими условиями и небольшими величинами эрозионного вреза большинства рек, которые составляют здесь менее 30-50м. [14]. Вместе с тем на

описываемой территории (по ее юго-западной и северной границам), на общем фоне низких значений подземного стока встречаются водотоки с более высокими стоковыми параметрами, где модуль подземного стока составляет:  $g_s > 1,5$  л/сек км<sup>2</sup>. К этим водотокам относятся реки Тьма и Тверца, и озерная река Волчина (табл. 2), на водосборах которых существуют более благоприятные гидрогеологические условия [4, 12]. Наряду с этими водными объектами, на других малых и средних реках – Медведица, Тифина и т.д., с низкими параметрами минимального меженного и подземного стока, встречаются небольшие речные участки с повышенным подземным притоком, который обусловлен влиянием положительных гидрогеологических факторов на этот процесс в пределах малой территории (рис. 28). Относительно главной дрены – р.Волги, и ее водохранилищ, то необходимо отметить, что данная река характеризуется большими величинами эрозионного вреза и значительной глубиной дренирующего воздействия долины на подземные воды. Несмотря на наличие в геологическом разрезе глинистых водоупоров разной мощности (рис. 32, 39), река Волга дренирует глубокие водоносные горизонты, что подтверждается характером распределения гидроизопьез и гидравлических напоров в этом районе (рис. 30). Также большое влияние на интенсивность разгрузки подземных вод в пределах волжской долины оказывают геолого-структурные факторы, в частности неотектоническая активность на данной территории [4]. Другая крупная река исследуемого района – р. Тверца, характеризуется тем, что ее водный сток зарегулирован попусками из Вышневолоцкого водохранилища, и при больших сбросных расходах из Вышеволоцкого гидроузла естественный температурный режим ее речных вод может быть нарушен этими попусками. Данный водоток характеризуется высокими параметрами подземного притока в нижнем своем течении, где модули стока составляют:  $g_s > 2$  л/сек км<sup>2</sup>. На описываемой территории река Молога также является крупным водным объектом, которая в среднем и нижнем течении дренирует глубокие подземные воды, согласно представленным схем гидроизопьез отдельных водоносных горизонтов (рис. 30, 30б). В верхнем течении подземный приток этой реки незначителен, здесь линейный модуль подземного стока составляет –  $g_{\text{лин.}} < 5$  л/сек км, и только в среднем течении, ниже устья р.Осень – у с.Еськи, подземный сток р.Мологи значительно возрастает –  $g_{\text{лин.}} = 15-20$  л/сек км., но не превышает эти показатели подземного стока на р.Волга, где они могут составлять –  $g_{\text{лин.}} > 30-40$  л/сек км [14]. В целом, описываемый район характеризуется удовлетворительной геологической и гидрогеологической изученностью. В последние 30-40 лет издано множество научных монографий, производственных отчетов и геологических карт по этому району (рис. 29–40). Довольно полно и кратко характеристика подземных вод на территории бассейна Верхней Волги дана российским гидрогеологом, д.г-м.н. Зекцером И.С. ИВПАН, Москва, в гидрогеологическом разделе последнего научно-прикладного гидрологического справочника, ГГИ, 2015 г. [12]. Как известно, описываемая территория расположена в пределах Русской платформы и Московской синеклизы [4]. Древний рельеф этой территории преобразован деятельностью ледников и представляет сейчас моренную равнину с возвышенностями, чередующимися с многочисленными плоскими часто замкнутыми понижениями, занятыми болотами или озерами. Согласно

геологической изученности, здесь кристаллические породы Московской синеклизы перекрываются осадочной толщей горных пород большой мощности, которая представлена известняками и доломитами разных каменноугольных возрастов, и отложениями пермского, юрского, триасовой и мелового периодов. В верхней части геологического разреза на всей территории повсеместно распространены четвертичные отложения разной мощности (рис. 32, 34, 36, 37, 38, 39, 40). В их толще в районе Оршинско-Петровских озер встречаются воды современных болотных отложений (рис. 34), и очень часто во многих местах присутствуют водно-ледниковые комплексы, которые включают флювиогляциальные, озерно-ледниковые и аллювиальные отложения. К данным генетическим и стратиграфическим горизонтам и комплексам приурочены надвалдайский, валдайско-московский, московско-днепровский, днепровско-окский водоносные горизонты. Вышеуказанные подземные воды четвертичных отложений отмечены на территории бассейнов рек Медведицы и Верхней Мологи, в низовьях р. Волчины и р. Тифины – среднее течение (рис. 32, 34, 36, 37, 38, 39, 40). Встречающиеся повсеместно ледниковые отложения слабо обводнены в отличие от водноледниковых отложений. Также в пределах исследуемого района широко распространены подземные воды каменноугольных отложений, которые ближе к Волге являются уже минерализованными водами, глубоко погружаясь под толщу более молодых мезо-кайнозойских отложений пермского, триасового, юрского, мелового, четвертичного периодов. В исследуемом районе водоносные горизонты пермских и триасовых отложений, которые присутствуют в бассейнах рек Медведицы (среднее и нижнее течение), Волчины и Тихвины, Верхней Мологи, в районе Оршинско-Петровских озер, отличаются очень малой водообильностью (рис. 33, 35, 37, 38, 40). Реже на данной территории встречаются подземные воды юрско-меловых отложений, которые характеризуются слабой обводненностью и прерывистым распространением (рис. 33, 37, 38, 40). Относительно химизма подземных вод в исследуемом районе необходимо отметить, что подземные воды заключенные в доюрских отложениях, характеризуются повышенной минерализацией, иногда достигающей 50-100г/л. Причинами этого являются затрудненные условия вертикального водообмена между водоносными горизонтами, вызванные наличием мощной толщи глин пермского, триасового, юрского и четвертичных периодов [4]. Зона пресных вод охватывает водонасыщенные отложения разных геологических возрастов и не превышает 100м. В северной и северо-восточной частях исследуемого района основными источниками хозяйственного водоснабжения являются преимущественно воды четвертичных, и частично меловых, юрских и пермских отложений, в юго-восточной части – подземные воды каменноугольных отложений.

#### **Гидродинамические особенности движения подземных вод на исследуемой территории.**

На приведенной карте пьезометрической поверхности, которая охватывает большую часть исследуемого района, было выделено четыре контура, которые соответствуют частным подземным водосборам отдельных рек и водохранилищ (рис.30). Подземный бассейн №1 включает левобережную часть общего водосбора Волжского и Иваньковского плесов Иваньковского водохранилища; подземный бассейн №2 охватывает речные водосборы рек Тихвина и

Ривица; подземный бассейн №3 расположен в междуречье рек Молога и Медведица и включает речной бассейн р.Дрезна; подземный бассейн №4 – в него входит левобережная часть общего подземного водосбора Шошинского плеса Иваньковского водохранилища. При детальном рассмотрении схемы пьезометрических уровней выясняется, что вышеуказанные поверхностные водотоки почти не оказывают дренирующего влияния на движение подземных водных потоков, которое направлено от гидравлических водоразделов к рекам Волге или Мологе (среднее течение). Исключением являются отдельные небольшие участки, которые расположены на реке Медведица – у.с.Замытье, и вблизи устья рек Кушалка (рис. 30). Анализируя распределение гидроизопьез в пределах подземного водосбора №1, можно сделать вывод о том, что разгрузка глубоких подземных вод, сформированных на этой очень большой площади, происходит в основном в Волжский и Иваньковский плесы Иваньковского водохранилища, и частично в крупные озера Оршинско-Петровской озерной системы (рис. 30, 31). На другом подземном водосборе №2, где протекает река Тифина, движение глубокого стока согласно схемы гидроизопьез, направлено в сторону Мологи. В пределах водосбора №3, глубокий подземный поток двигается от верховьев р. Молога, захватывает бассейн р.Дрезны и выходит к р. Медведица, и далее после ее пересечения продолжает движение в сторону реки Волга. В конечном итоге существующая местная гидрографическая сеть на большей части исследуемой территории почти не оказывает дренирующего воздействия на глубокие подземные воды.

Таблица 2

**Расчетный подземный сток рек исследуемого района по данным наблюдений Росгидромета (УГМС) и ФА «Роснедра»**

| Река, водопост, ведомство                                  | р. Тьма<br>в/п Новинки,<br>УГМС     | р. Медведица            |                      | р. Кашинка,<br>в/п Кашин,<br>УГМС | р. Тифина*<br>-устье,<br>«Роснедра» | р. Волчина,<br>в/п Волч.<br>лестничество<br>УГМС | р. Ривица-<br>устье,<br>«Роснедра» | р. Молога.,<br>в/п Ильичино,<br>УГМС |
|--|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|
|  |                                     | в/п Никольское,<br>УГМС | в/п Б.Сетки,<br>УГМС |                                   |                                     |  |                                    |                                      |
| Площадь водосбора, Фкм <sup>2</sup>                        | 1800                                | 1160                    | 3900                 | 514                               | 1180                                | 2990   | 322                                | 396                                  |
| Период наблюдений.   | 1936-<br>1939,<br>1956-<br>1975 гг. | 1956-<br>1975 гг        | 1948-<br>1975 гг.    | 1965-<br>1980 гг.                 | 21.08.<br>1991 г.                   | 1954-<br>1975 гг.                                | 22.08.<br>1991 г                   | 1941-<br>1975 гг.                    |
| Норма подземного стока, Qм <sup>3</sup> /сек               | 3,4                                 | 0,8                     | 3,1                  | 0,57                              | 1,24                                | 4,7  | 0,31                               | 0.1                                  |
| Расчетный модуль подземного стока, g л/сек км <sup>2</sup> | 1,9                                 | 0,7                     | 0,8                  | 1,1                               | 1,1                                 | 1,6  | 1,0                                | 0,25                                 |

Примечание: 1) расчетные характеристики по подземному стоку рек исследуемого района взяты из отчета ГГИ «Оценка водных ресурсов Московского артезианского бассейна по данным изученности на 01.01.1972 г.». Эти же данные были использованы в работе по теме

057-87 «Выявить очаги интенсивной разгрузки подземных вод дистанционными методами (на примере Калининской области)». ВНИГИК, 1990 г. [14].

2) р.Тифина\* – низкий минимальный меженный месячный сток на этой реке подтверждается экспедиционными исследованиями Тверского УГМС, в жаркое лето 1963 года, у д.Кострецы, где площадь водосбора составляла –  $F=1082 \text{ км}^2$ ; расчетные среднееголетние характеристики летнего минимального месячного стока по данным Тверского УГМС составляли: расход воды –  $Q \text{ мин.мес.}=0,3 \text{ м}^3/\text{сек}$ ; модуль стока –  $q=0.6\text{л}/\text{сек км}^2$ .

3) низкие характеристики подземного и меженного минимального стока р. Молога (верхнее течение), и р.Медведица подтверждались в последующих официальных гидрологических справочниках [12].

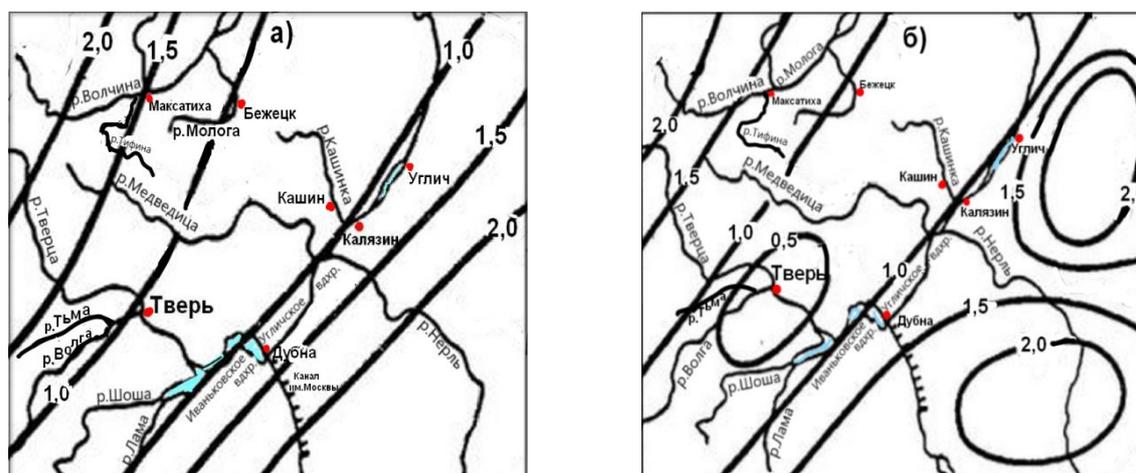


Рис. 27. Фрагменты схематических карт среднееголетнего месячного минимального стока за летне-осенний (а) и зимний периоды (б) с указанием модуля стока –  $q \text{ л}/\text{сек км}^2$ , для водосборов,  $F > 2000 \text{ км}^2$ . Центральная, северная, северо-восточная и юго-восточная части Тверской области. Литературный источник: Ресурсы поверхностных вод. Т.10. Верхневолжский бассейн. Гидрометеиздат. 1973г.

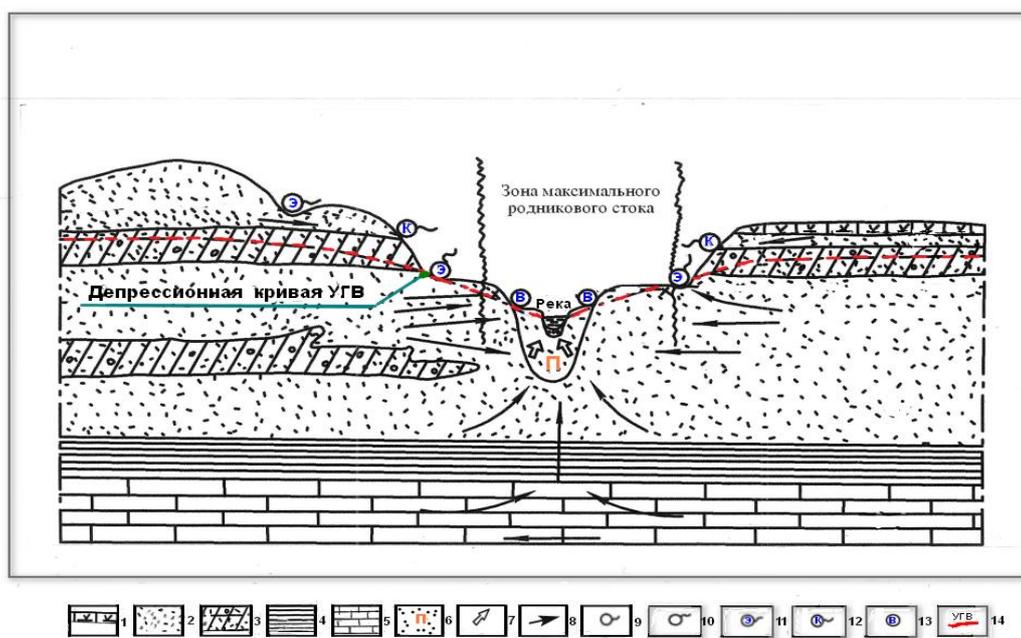


Рис. 28. Обобщенная схема подземного питания малых и средних рек Тверского региона на участках с повышенным подземным притоком [14]. Условные обозначения: 1 – торф; 2 – пески; 3 – моренные суглинки; 4 – глины; 5 – известняки; 6 – палеодолина; 7 – субаквальная разгрузка подземных вод; 8 – направление движения подземных вод. Родники: 9 – нисходящие; 10 – восходящие; 11 – эрозионные; 13 – контактные; 14 – депрессионная кривая уровней грунтовых вод (УГВ)

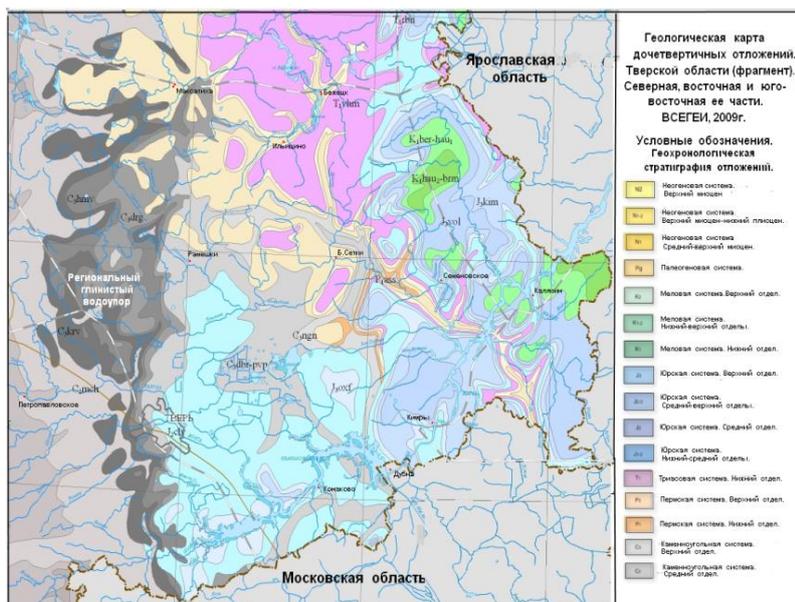


Рис. 29. Геологическая карта дочетвертичных отложений Тверской области (фрагмент). Центральная, юго-восточная, северо-восточная и северная части ее территории. ВСЕГЕИ. 2009 год [6]

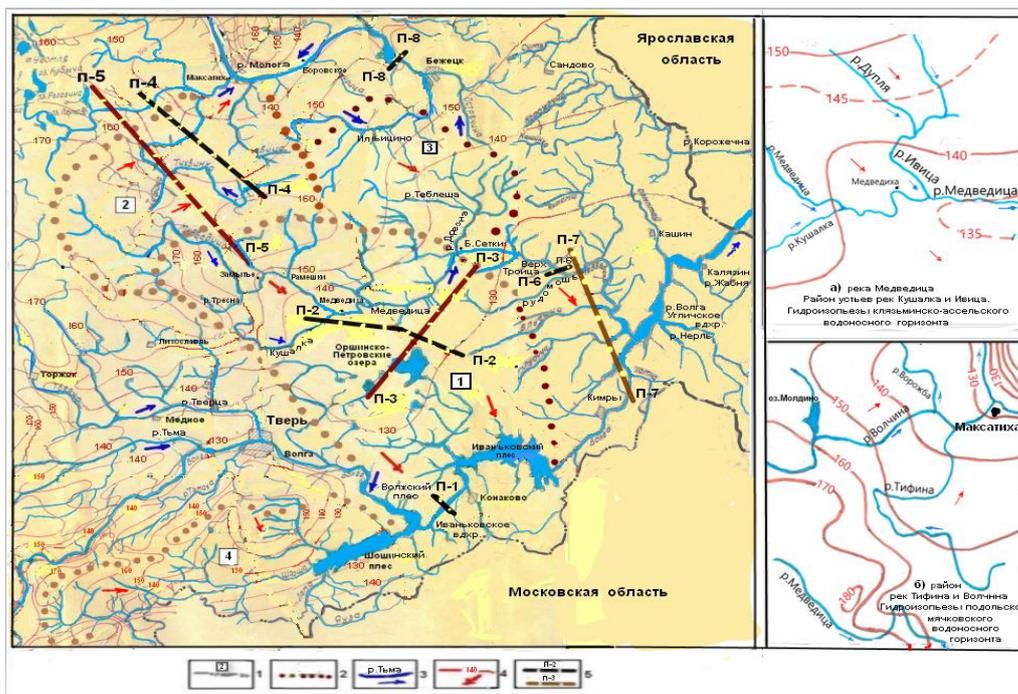


Рис. 30. Схема геологических и гидрогеологических разрезов по исследуемому району, с выделенными по гидроизопьезам подземными бассейнами: №1 – левобережная часть водосбора Волжского и Ивановского плесов Ивановского водохранилища; №2 – водосборы рек Тифины, Ривица; №3 – водосбор р.Дрезны; №4 – левобережная часть водосбора Шошинского плеса Ивановского водохранилища. Условные обозначения: 1 – граница Тверской области; 2 – граница подземных бассейнов, с указанием их порядкового номер, 3 – реки, озера; 4 – гидроизопьезы, вынесенные с Государственных гидрогеологических карт, М 1:200000; 5 – геологические профили, их порядковый номер, черный цвет – геологические разрезы (профили), коричневый цвет – геологические разрезы (профили) четвертичных отложений. Рисунки-вставки: а) гидроизопьезы клязьминско-ассельского водоносного горизонта в бассейне р. Медведица, район устьев рек Кушалка и Ивица. Взяты из гидрогеологической карты, лист 0-37-XXV, 1967г. [3]; б) гидроизопьезы подольско-мячковского водоносного горизонта в районе бассейнов рек Тифина и Волчина. Взяты из гидрогеологического отчета института ВНИГИК, Тверь, 1990г. [14]

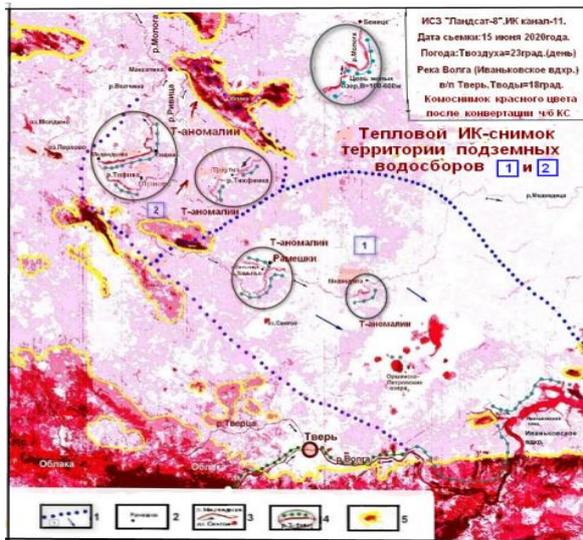


Рис. 31. Тепловой космический снимок (фрагмент), охватывающий территорию подземных водосборов № 1 и № 2 (к рис. 30), ИСЗ «Ландсат-8», 11 канал,  $\lambda\lambda=11.5-12,5$  мкм. Дата съемки : 15 июня 2020 года. Красный цвет, получен путем конвертирования черно-белого космоснимка. Условные обозначения: 1 – схематическая граница подземных водосборов, с указанием их порядкового номера; 2 – населенные пункты; 3 – реки, озера; 4 – участки рек с выделенными температурными аномалиями на тепловых космических снимках; 5 – облака

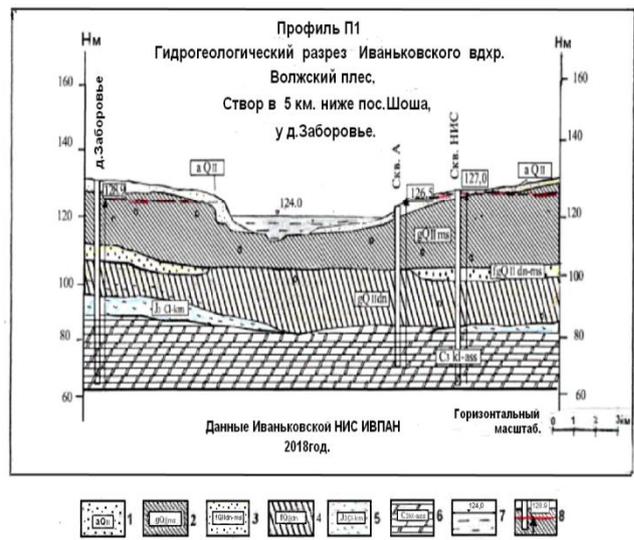


Рис. 32. Профиль П 1 (к рис. 30). Гидрогеологический разрез Иваньковского водохранилища, Волжский плес. Створ у д.Заборовье. Данные Иваньковской НИС ИВПАН,2018 г. [11]. Условные обозначения: 1-среднечетвертичный аллювиальный водоносный горизонт, пески; 2 – московский ледниковый слабоводоносный горизонт, моренные суглинки ; 3 – днепровско-московский водноледниковый подгоризонт, пески, гравий, галька; 4 – днепровская ледниковая толща, суглинки валунные с гнездами песков; 5 – келловей-киммериджский водоупор, глины с прослоями глинистых песков; 6 – клязьминско-ассельский водоносный горизонт, доломиты, реже известняки, прослой мергелей; 7 – НПУ водохранилища; 8 – пьезометрические уровни. напорных вод в гидрогеологических скважинах



Рис. 33. Профиль П 2 (к рис.30). Геологический разрез по линии А-Б. Приложение к геологической карте, лист О-37-XXV. ВСЕГЕИ, 2011-2017 гг. [3]. Условные обозначения: 1 – четвертичные отложения; 2 – юрские отложения, нижнекиммержидский ярус и нижне-оксфордский подъярус, глины; 3 – верхнекевлловейский и среднекевлловейский подъярусы, глины; 4 – пермские отложения, татарский и ассельский ярусы, глины, алевроиты; отложения верхнего карбона: 5 – ногинская толща, доломиты; 6 – павлово-посадская и дрезнинская толщи, амаревская и малинниковская толщи, русавкинская и щелковская толщи, известняки мергели, глины; 7 – дорогомилловский и хамовнический горизонты, известняки, глины, мергели; 8 – кривякинский горизонт, известняки, мергели, глины; отложения среднего карбона: 9 – мячковский и подольский горизонты, известняки, доломиты, мергели; 10 – каширский горизонт, известняки, мергели, глины; 11 – верейский горизонт, глины; отложения нижнего карбона: 12 – протвинский, стешевский, тарусский горизонты, известняки, доломиты; 13 – веневский, михайловский горизонты, известняки, глины, алевроиты, пески; 14 – алексинский горизонт, глины, пески

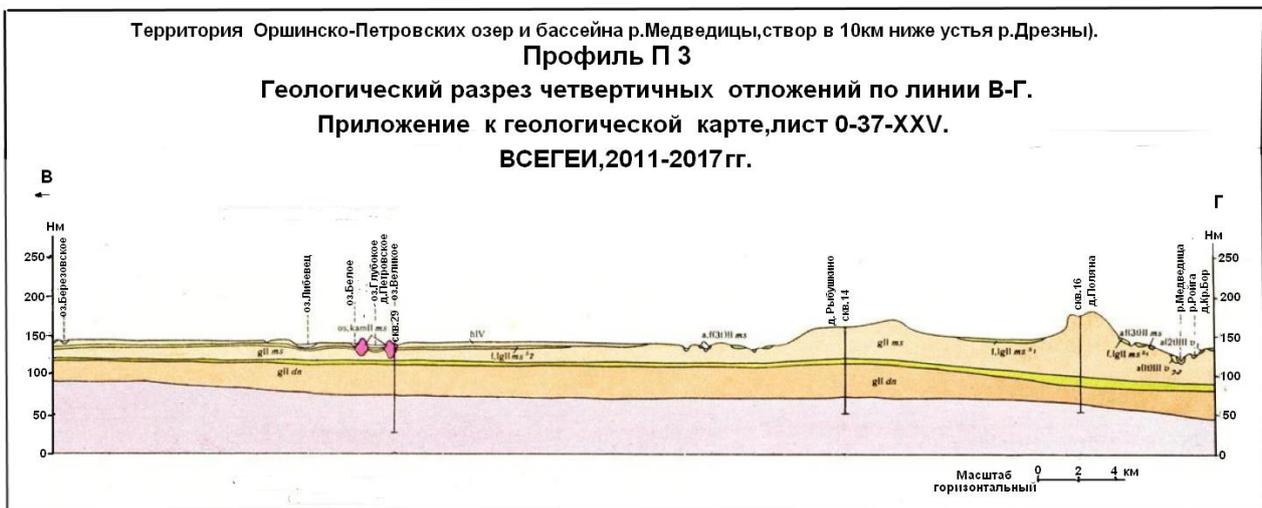


Рис. 34. Профиль П 3 (к рис. 30). Фрагмент геологического разреза четвертичных отложений по линии В – Г. Приложение к геологической карте, лист 0 – 37XXV. ВСЕГЕИ, 2011 – 2018 гг. [3]. Условные обозначения: 1 – болотные отложения, торф, сапропели и аллювиальные отложения, суглинки; 2 – московский горизонт, водноледниковые отложения озов, галечники, глины; 3 – московский горизонт, аллювиально-флювиогляциальные отложения, пески; 4 – московский горизонт, водноледниковые отложения, пески; 5 – нижневалдайский горизонт, аллювиальные отложения, пески; 6 – средне – верхневалдайский горизонты, аллювиальные отложения, пески. 7 – московский горизонт, ледниковые

отложения – морена, валунные суглинки, пески; 8 – днепровско-московский горизонты, водноледниковые, аллювиальные, озерные, болотные отложения, пески; 9 – днепровский горизонт – морена, ледниковые отложения, валунные суглинки; 10 – дочетвертичные отложения

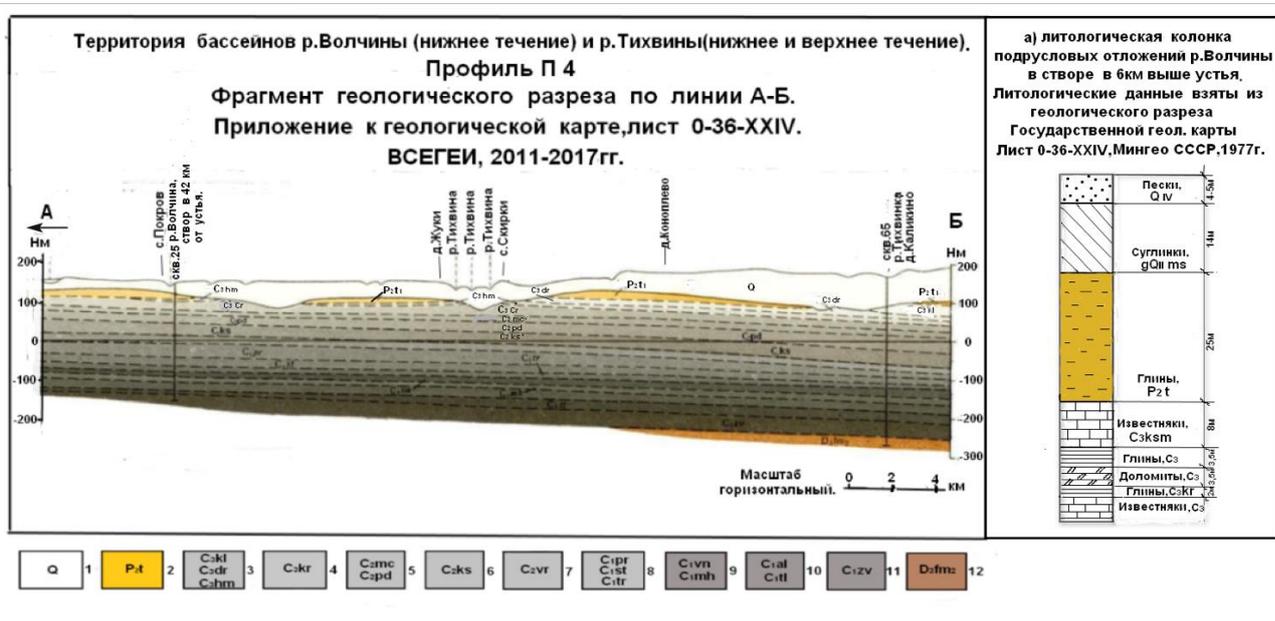


Рис. 35. Профиль П 4 (к рис.30). Фрагмент геологического разреза по линии А-Б. Приложение к геологической карте, лист 0-36-XXIV. ВСЕГЕИ, 2011-2018гг. [3]. Условные обозначения: 1 – четвертичные отложения; 2 – верхнепермские отложения, татарский ярус, глины, алевроиты; отложения верхнего карбона: 3 – клязьминский, доромиловский, хамовнический горизонты, известняки, глины, мергели; 4 – кривякинский горизонт, известняки, мергели, глины; отложения среднего карбона: 5 – мячковский и подольский горизонты, известняки, доломиты, мергели; 6 – каширский горизонт, известняки, мергели, глины; 7 – верейский горизонт, глины; отложения нижнего карбона: 8 – протвинский, стешевский и тарусский горизонты, известняки, доломиты, мергели; 9 – веневский и михайловский горизонты, известняки, глины, алевроиты; 10 – алексинский и тульский горизонты, глины, алевроиты, пески; 11 – заволжский горизонт, доломиты, мергели; девонские отложения: 12 – фаменский ярус, известняки, мергели, глины. Рисунок – вставка: а) литологическая колонка подрусловых отложений реки Волчины, в створе в 6 км выше устья. Литологические данные взяты из геологического разреза Государственной геологической карты. Лист 0-36-XXIV, Мингео СССР, 1977 г. [3].

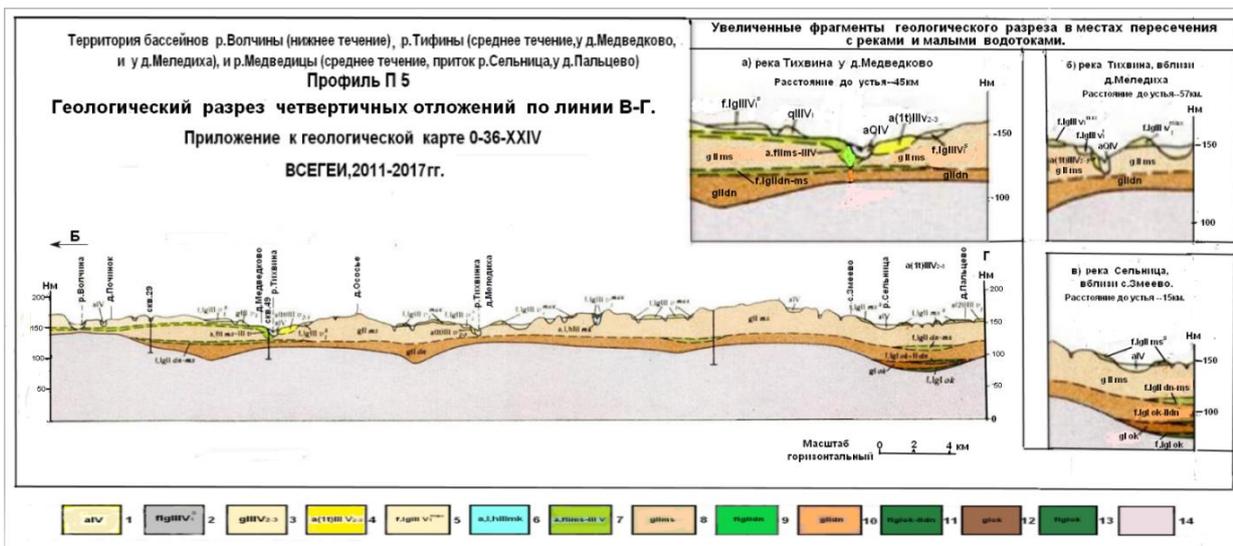


Рис. 36. Профиль П 5 (к рис. 30). Фрагмент геологического разреза четвертичных отложений по линии В-Г. Приложение к геологической карте, лист 0-36-XXIV. ВСЕГЕИ, 2011-2017 гг. [3]. Условные обозначения: 1 – аллювиальные отложения, пески, суглинки; 2 – нижневалдайский горизонт, водноледниковые отложения, пески, глины; 3 – средне и верхневалдайский горизонт, ледниковые отложения, суглинки, глины; 4 – средне и верхневалдайский горизонт, аллювиальные отложения, пески; 5 – нижневалдайский горизонт, водноледниковые отложения максимального распространения ледника, пески, глины; 6 – миккулинский горизонт, аллювиальные, озерные и болотные отложения, пески, глины, алевриты; 7 – средне и верхнечетвертичные отложения, московский горизонт и валдайский подгоризонт, водноледниковые, аллювиальные, озерные и болотные отложения, пески, алевриты; 8 – московский горизонт, ледниковые отложения – морена, суглинки валунные с галькой; 9 – днепровско-московский горизонты, водноледниковые, аллювиальные, озерные и болотные отложения, пески, алевриты; 10 – днепровский горизонт, ледниковые отложения – морена, суглинки с галькой и валунами; 11 – ниже- и среднечетвертичные отложения. Окско-днепровский горизонты, водноледниковые, аллювиальные, озерные и болотные отложения, пески, глины, алевриты; 12 – окский горизонт, ледниковые отложения – морена, суглинки валунные; 13 – окский горизонт, водноледниковые отложения, пески; 14 – дочетвертичные отложения. Рисунки-вставки: а), б), в) – увеличенные фрагменты геологического разреза в местах пересечения с реками и малыми водотоками: а) река Тихвина у д.Медведково; б) река Тихвина, вблизи д.Меледиха; в) приток р.Медведицы, р.Сельница, вблизи с.Змеево

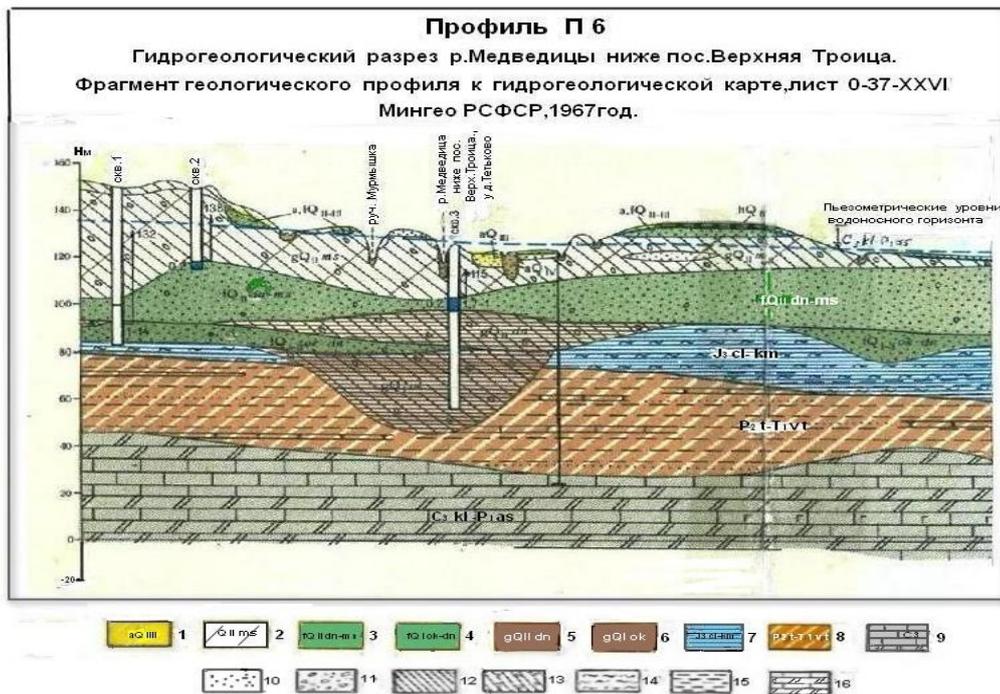


Рис. 37. Профиль П 6 (к рис. 30). Гидрогеологический разрез р. Медведицы ниже пос. Верхняя Троица. Фрагмент геологического профиля к гидрогеологической карте, лист 0-37-XXVI. ГУЦР Мингео РСФСР, 1967 год. [3]. Условные обозначения: 1 – верхне-четвертичный водоносный горизонт; 2 – воды в московской морене; 3 – московско-днепровский водоносный горизонт; 4 – днепровско-окский водоносный горизонт; 5 – днепровский водоупорный горизонт; 6 – окский водоупорный горизонт; 7 – киммеридж – келловейский водоупорный горизонт; 8 – пермские и триасовые отложения; 9 – каменно-угольные отложения. клязьминско-ассельский водоносный горизонт; литология: 10 – пески; 11 – щебень и гравий

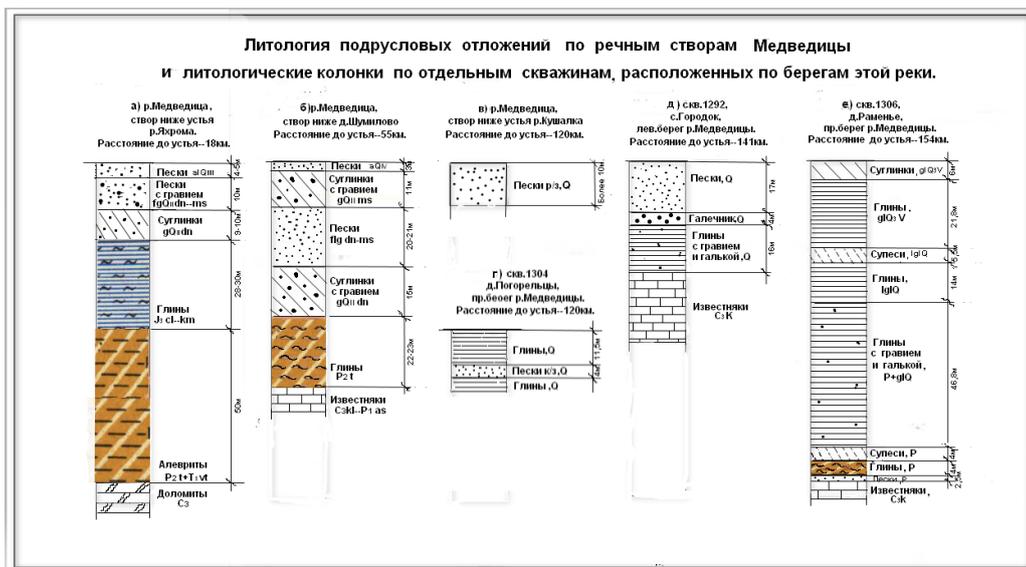


Рис. 38. Литология подрусловых отложений по речным створам Медведицы и геологические колонки по отдельным скважинам, расположенных по берегам этой реки. Данные по литологии взяты из следующих источников: а) – геологический разрез, лист 0-37-XXVI, 1967 год [3]; б) – геологический разрез, лист 0-37-XXV, 1966 год [3]; в) – проект «Русловыпрямительные работы на р.Медведица в районе а/дорожного моста автодороги д.Погорельцы-д.Медведиха» Тверьавтодор, 1993 г. [13]; г), д), е) – монография «Каталог скважин на воду», Калининская область. Гидрорежимная партия, Москва, 1960 год [8]

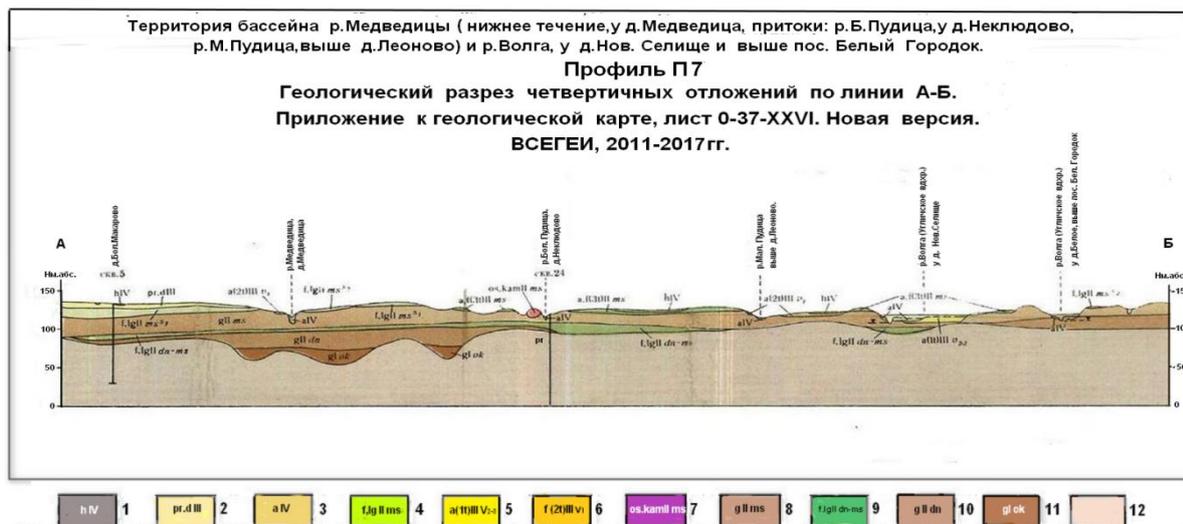


Рис. 39. Профиль П 7 (к рис. 30). Геологический разрез четвертичных отложений по линии А-Б. Приложение к геологической карте, лист 0-37 – XXVI. Новая версия. ВСЕГЕИ, 2011-2017гг. [3]. Условные обозначения: 1 – болотные отложения, торф; 2 – нерасчлененный комплекс отложений, суглинки, супеси, пески; 3 – аллювиальные отложения, пески, суглинки, глины; 4 – московский горизонт, водноледниковые отложения, пески; 5 – средневалдайский – верхневалдайский горизонт, пески, глины; 6 – нижневалдайский горизонт, пески, глины; 7 – московский горизонт, водноледниковые отложения озоев и камов, пески, гравий; 8 – московский горизонт, ледниковые отложения – морена, суглинки с валунами; 9 – днепровско-московский горизонты, водноледниковые, аллювиальные, озерные и болотные отложения, пески с гравием; 10 – днепровский горизонт, ледниковые отложения, суглинки с галькой и валунами; 11 – окский горизонт, ледниковые отложения – морена, суглинки с галькой и валунами; 12 – дочетвертичные отложения

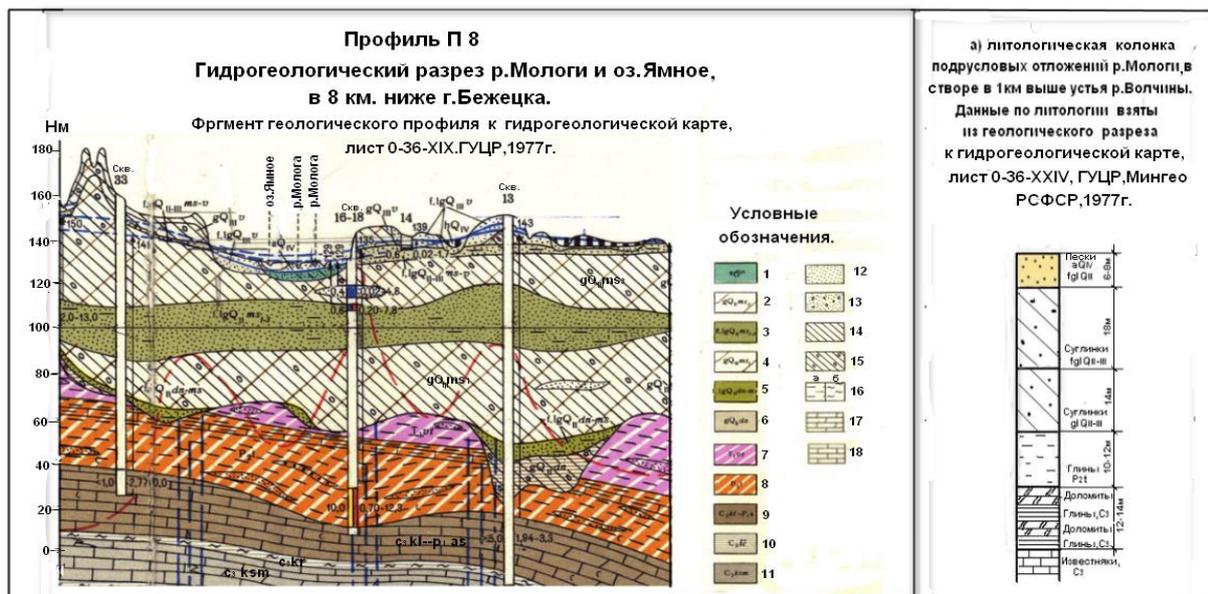


Рис. 40. Профиль П 8 (к рис.30). Гидрогеологический разрез р.Молога и оз. Ямнино, в 8км ниже г.Бежецка. Фрагмент геологического профиля к гидрогеологической карте, лист 0-36-ХІХ ГУЦР Мингео РСФСР, 1977 г. [3]. Условные обозначения: 1 – современный аллювиальный горизонт; 2 – верхнемосковская ледниковая толща, глины алевриты, пески; 3 – нижнемосковский водно – ледниковый комплекс, глины, алевриты, пески; 4 – нижнемосковская ледниковая толща, глины, алевриты, пески; 6 – днепровско – московский

водоносный комплекс, глины, алевриты, пески; 6 – днепровский ледниковый водоупор, суглинки валунные; 7 – ветлужская толща, глины; 8 – татарская толща, прослой песков, песчаников, алевритов; 9 – клязьминско-ассельский водоносный горизонт; 10 – кривякинский водоупор, глины; 11 – касимовский водоносный горизонт. Литология: 12 – пески; 13 – пески с включением щебня, гравия и гальки; 14 – суглинки; 15 – суглинки с включением щебня, гравия и гальки; 16 – глины(а) и глины в составе водоупора (б); 17 – доломиты; 18 – известняки. Рисунок – вставка: а) литологическая колонка подрусловых отложений реки Молога, в створе в 1км выше устья р.Волчины. Данные по литологии взяты из геологического разреза Государственной г/геологической карты, лист 0-36-XXIV, ГУЦР Мингео РСФСР, 1977 г. [3]

### **Фотолинеаменты выделенные на многозональных космических снимках и их связь с рельефом и геолого-структурными нарушениями в исследуемом районе.**

На представленном тепловом космоснимке ИСЗ «Ландсат-8» (канал 10), охватывающем северную, северо-восточную и юго-восточную части Тверской области наблюдается совпадение отдельных участков температурных аномалий на реках Тверца, Тьма, Тифина, Медведица, Верхняя Молога – у г.Бежецка, с ранее выделенными фотолинеаментами в ПГО «Аэрогеология», 1990 год (рис. 41). Согласно предыдущих исследований, выделенные линейные формы с одинаковой плотностью фототона (белые штрих-пунктиры) на многозональных космоснимках могут быть связаны с глубинными геолого-структурными нарушениями [14]. При этом роль тектонических нарушений в формировании повышенного подземного притока в реки и водоемы давно хорошо изучена (рис. 37а). Но следует отметить, что заметное положительное влияние этого геолого-структурного фактора на объемы подземного притока в реки, озера и водохранилища возможно при благоприятных гидрогеологических условиях: высокая водообильность и проницаемость водовмещающих пород, повышенная инфильтрация атмосферных осадков и т.д. Ранее в 1990 году в рамках проводимой работы по теме 057-87» Выявить участки интенсивной разгрузки подземных вод дистанционными методами (на примере Калининской области)», партия №6, МОМКАГЭ ПГО «Аэрогеология» провело линеаментный анализ Тверской области с использованием многозональных космоснимков ИСЗ «Ландсат-2», дата съемки – апрель 1977 года [14]. Данные материалы широко представлены в этой статье (рис. 42, 43, 44, 45, 46). Кроме этого в нашей работе по обзорным космическим снимкам и фотографиям были проанализированы зоны температурных аномалий речных вод на реках Медведица, Тифина, Тверца и Тьма. В большинстве случаев такие речные участки приурочены к крупным линейным рельефным депрессиям: крупные лоцины, ложбины, старицы и т.д. (рис. 5, 6, 9а, 47), которые в свою очередь могут совпадать с ранее выделенными фотолинеаментами ПГО «Аэрогеология», 1990 год.

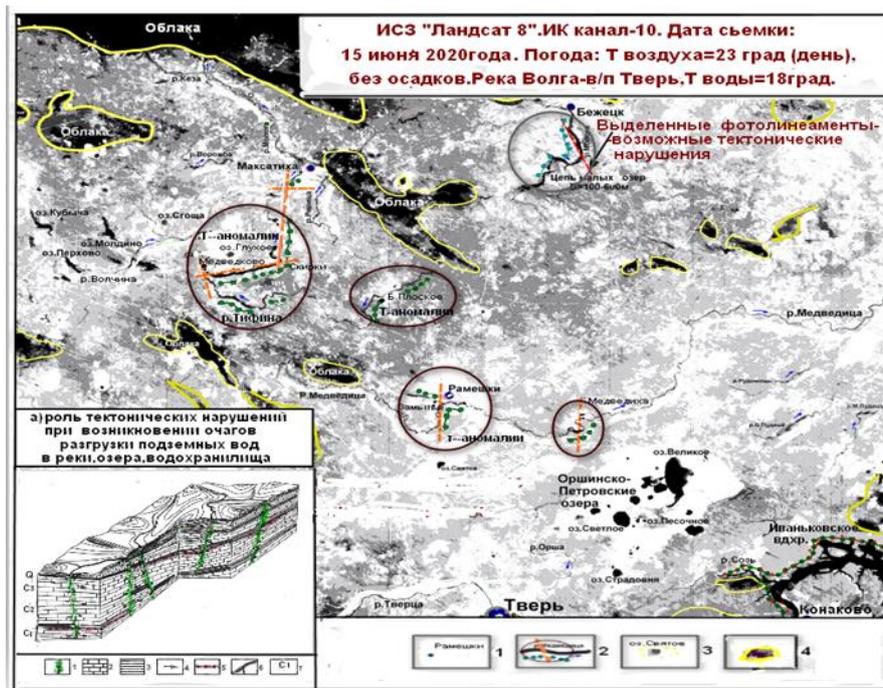


Рис. 41. Выявленные температурные аномалии в речных водах на тепловых снимках (ИСЗ» Ландсат-8», 10канал,  $\lambda\lambda=10,3-11,3$  мкм. Дата съемки: 15 июня 2020 года) и их связь с ранее выделенными фотолінеаментами на многозональных космических снимках (партия №6, МОМКАГЭ, ПГО «Аэрогеология», 1990 г). Условные обозначения: 1 – населенные пункты; 2 – речные участки с температурными аномалиями и с нанесенными схематически фотолінеаментами (красный цвет); 3 – озера; 4 – облака. Рисунок-вставка: а) роль тектонических нарушений при возникновении очагов разгрузки подземных вод в реки, озера, водохранилища. Условные обозначения: 1 – тектонические нарушения; 2 – водоносные горизонты и комплексы, известняки, доломиты; 3 – водоупорные горизонты; 4 – линии направления движения подземных вод; 5 – нижняя граница пресных вод; 6 – поверхностные водотоки, водоемы; 7 – геологический индекс водовмещающих пород

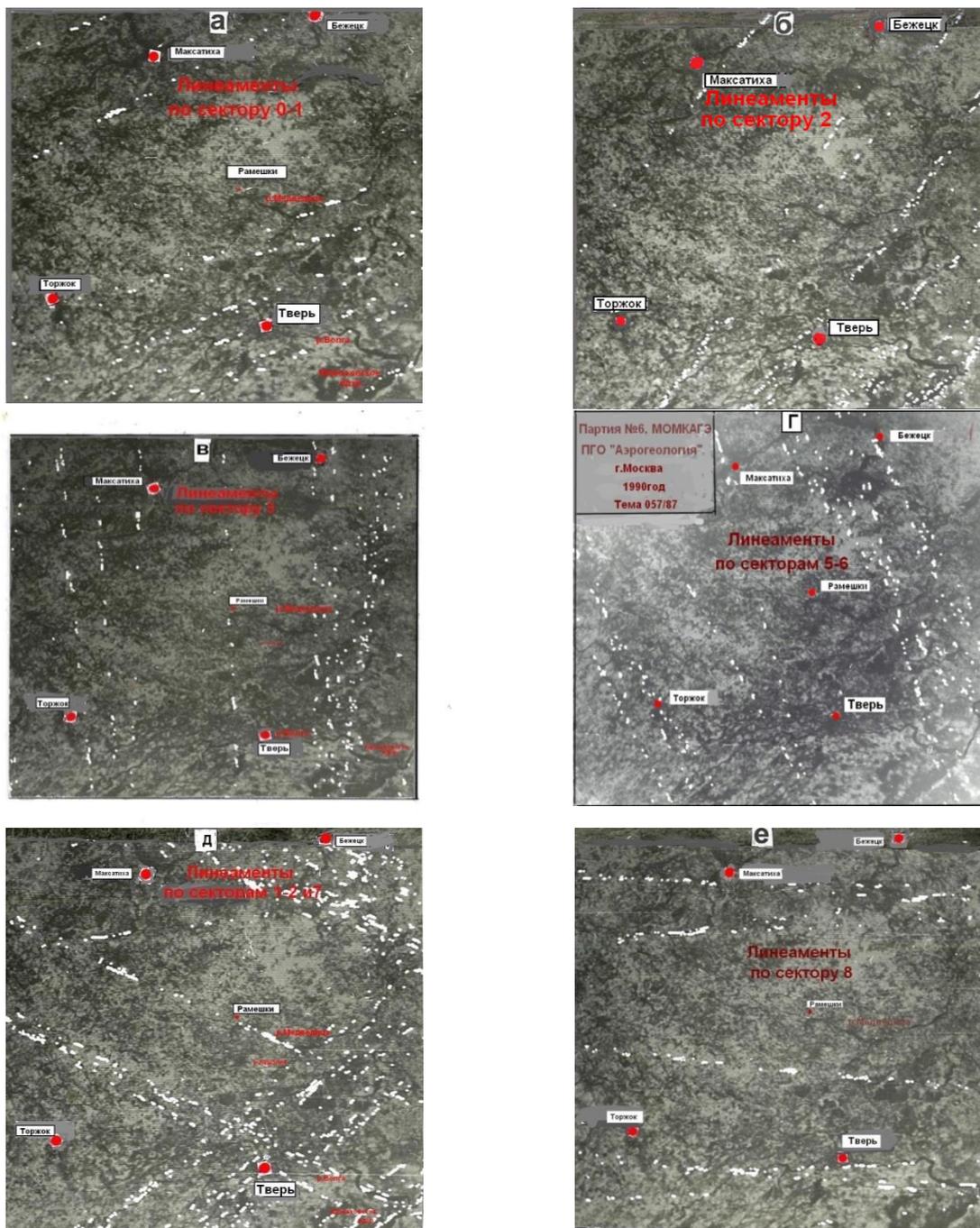


Рис. 42. Фотолинеаменты выделенные по секторам №0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 (а, б, в, с, д, е) на территории центральной, северной, северо-восточной и юго-восточной частях Тверской области. Партия №6, МОМКАГЭ, ПГО «Аэрогеология», 1990 год, Исполнители: Малкин Б.В., Шкарин В.Е. [14]. В данной работе использованы многозональные космические снимки ИСЗ «Ландсат – 2» (время съемки – апрель 1977 года), обработанные на ОЖ «Прогноз» по программе «Lessa». Примечание: номера секторов выделенных линеаментов даны согласно ведомственных технических нормативов ПГО «Аэрогеология» 1990 года, которые могли быть изменены за последние 20-30 лет, в том числе сам принцип секторной нумерации

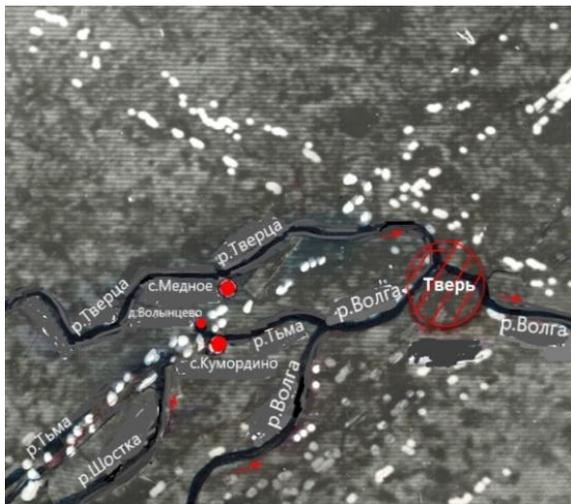


Рис. 43. Увеличенная схема фотолинеаментов, выделенных в районе рек Тьма и Тверца. Партия №6, МОМКАГЭ ПГО «Аэрогеология». Москва, 1990год [14]

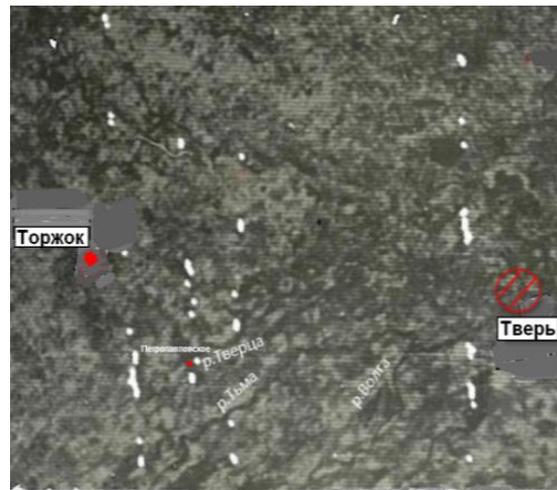


Рис. 44. Увеличенная схема фотолинеаментов, выделенных в районе реки Тверца, вблизи с. Петропавловское. Партия №6, МОМКАГЭ ПГО «Аэрогеология». Москва, 1990год [14]

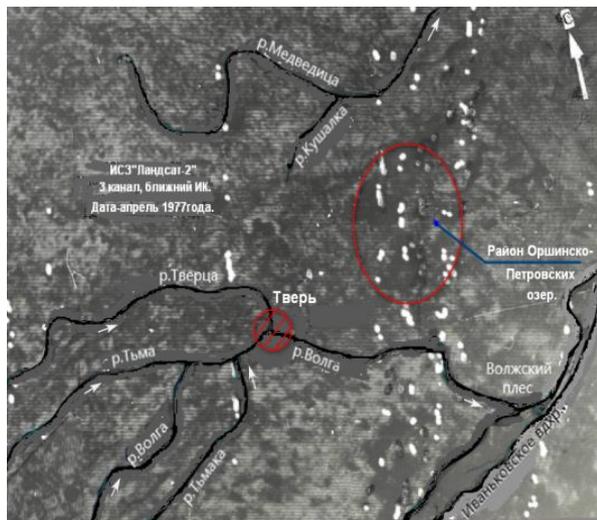


Рис. 45. Увеличенная схема фотолинеаментов, выделенных в районе Твери, Оршинско-Петровских озер и Иваньковского водохранилища. Партия №6, МОМКАГЭ, ПГО «Аэрогеология», 1990 год [14]

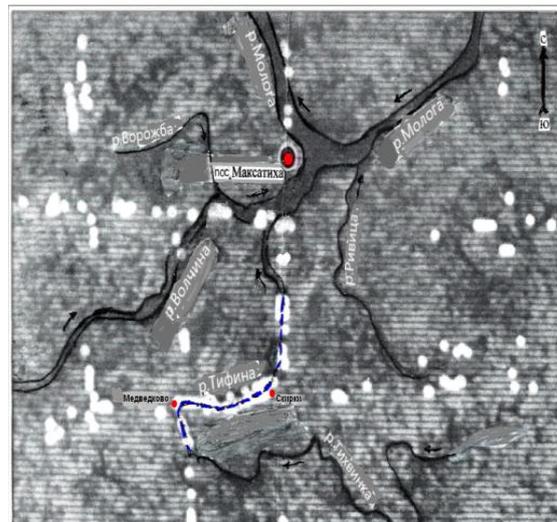


Рис. 46. Увеличенная схема фотолинеаментов, выделенных в районе рек Тифина и Волчина. Партия №6, МОМКАГЭ, ПГО «Аэрогеология». Москва, 1990 год [14]

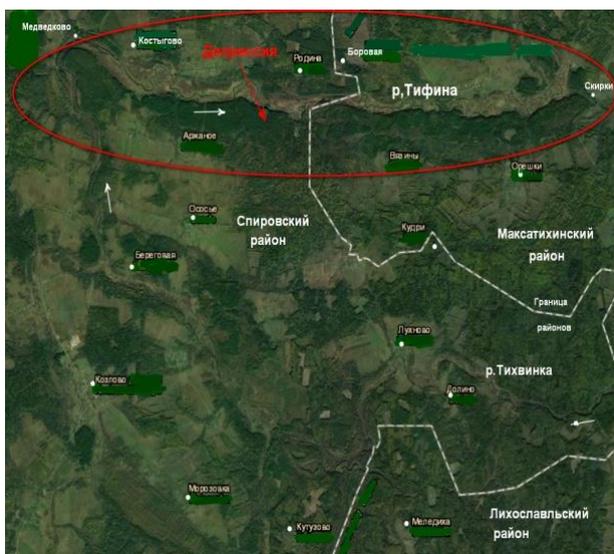


Рис. 47. Река Тифина, верхнее и среднее течение. Вид из космоса. Район температурных аномалий на речном участке: д.Медведково – д.Скирки

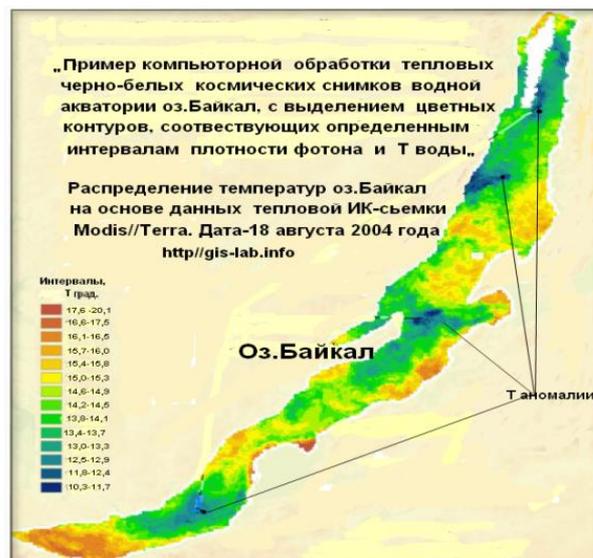


Рис. 48. Пример компьютерной обработки тепловых черно-белых космических снимков водной акватории оз.Байкал, с выделением цветных контуров, соответствующих определенным интервалам фототона и температуры воды (Т). Дата съемки: 18августа 2004 года. <http://gis-lab.info>

### **Основные закономерности возникновения участков повышенного подземного притока в реки, озера и водохранилища, выявленные в наших исследованиях с использованием дистанционных методов.**

При анализе большого количества летних и осенних тепловых космических снимков за период: 1989 – 2021годы, были выявлены общие закономерности возникновения участков повышенного подземного притока в реки, озера и водохранилища с использованием этой видеoinформации. В частности, подтверждено, что основная разгрузка подземных вод на данной территории происходит в главную региональную дрена – Волга и волжские водохранилища – Ивановское и Угличское, в меньшей степени – в реки Молога (среднее течение) и Тверца. Об этом также свидетельствуют карты гидроизопъез и напоров отдельных водоносных горизонтов, на которых движение глубоких подземных вод направлено к этим крупным водотокам и водоемам. Согласно нашим исследованиям, активно процесс разгрузки подземных вод происходит на некоторых крупных озерах Оршинско-Петровской озерной системы, если судить по высокой плотности фототона их водных акваторий на летних ИК-фотоснимках. Причем на темном фоне волжских водохранилищ и крупных озер визуально выделяются иногда более контрастные участки зон температурных аномалий на тепловых космоснимках, которые наиболее интересны в наших исследованиях, поскольку их местоположение может совпадать с большими или даже мощными очагами интенсивной разгрузки подземных вод. В нашей работе очень заметные по своим размерам контуры с высокой плотностью фототона озерных вод были отмечены на Угличском вдхр. – в районе г.Калязин и у устья р.Медведица, и на озерах Великое и Светлое. Наряду с этим в районах низкого меженного и подземного стока и с неблагоприятными

гидрогеологическими условиями (бассейны рек Тифина, Медведица – исключая ее приустьевую часть), также наблюдаются температурные аномалии, приуроченные к отдельным заметным выходам глубоких подземных вод. Но такие речные участки нельзя квалифицировать как зоны интенсивной разгрузки подземных вод, т.к. объемы подземного притока здесь не столь значительны, согласно данным наблюдений за минимальным меженным стоком на этих водотоках (табл. 2). При проведении наших исследований отсутствовали технические возможности для лучшей визуализации участков температурных аномалий, выделенных на ИК-снимках. И поэтому в нашей работе для улучшения визуального восприятия температурных аномалий на тепловых космоснимках дальнего диапазона были использованы простые фотографические методы [10]. В дальнейшем для уточнения местоположения выявленных очагов температурных аномалий на Иваньковском и Угличском водохранилищах, на озерах Великое и Светлое, необходимо провести электронную обработку существующих ИК-космоснимков, с последующим выделением разных цветных контуров с определенными интервалами температуры озерных вод. В частности, такая работа проводилась для других крупных водных объектах России (рис.48). Как известно, большие реки, озера и водохранилища, где сосредоточены большие водные массы, отличаются от малых водных объектов особым и более сложным температурным режимом в летне-осенний период. К примеру, река Волга, которая зарегулирована Верхневолжским и Вазузским водохранилищами и в районе г.Твери и ниже находится в подпоре от Иваньковского водохранилища, характеризуется изменчивым температурным режимом речных вод в летне-осенний период. При этом водный сток Верхней Волги, ниже в/п Старица и выше г.Твери, в летне-осеннюю межень довольно значителен, и составляет –  $Q_{ср.} > 40-50 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Из-за различий процессов нагревания волжских водных масс солнечной энергией и разной интенсивности подземного притока на отдельных участках этой крупной реки, а также из-за постоянного быстрого перемещения руслового водного потока вниз по течению и при наличии в нем турбулентного процесса, очень трудно на этом большом водотоке по космическим ИК-снимкам выделить участки интенсивной разгрузки подземных вод. Причем часто такие аномальные зоны высокого подземного притока: частый выход родников, обильное «высачивание» подземных вод и т.д., на таких больших или средних реках проявляются в узкой прибрежной полосе шириной менее 100 м, которая не фиксируется радиометрами ИСЗ «Ландсат-5,8». Наиболее эффективно в этих случаях может быть использование тепловой аэросъемки или беспилотников с установленной инфракрасной аппаратурой [14]. На других водных объектах – крупные озера и водохранилища, где присутствуют «стоячие» воды или «медленно текущие» озерные воды, становится возможным выделение зон температурных аномалий на ИК-фотоснимках. Как ранее отмечалось, на некоторых космических фотографиях в тепловом диапазоне, русла отдельных водотоков отображаются слабо контрастным серым цветом и часто не сплошной линией, прерываясь на отдельных участках. По-видимому, это связано с увеличением подруслового стока на таких локальных участках малых и средних рек, или лучшей прогреваемостью

русловых вод на мелководных отрезках этих водотоков в летний период. Из предыдущего опыта известно, что многие выявленные температурные аномалии поверхностных и грунтовых вод в данном районе приурочены к отрицательным формам рельефа, где возможны глубинные геолого-структурные нарушения. Но в действительности неотектоническая активность на территории бассейнов рек не всегда приводит к формированию повышенного подземного стока, поскольку, кроме этого положительного геолого-структурного фактора, необходимо наличие благоприятных гидрогеологических условий: высокая водообильность водовмещающих пород, их повышенные фильтрационные характеристики, активная инфильтрация атмосферных осадков и т.д. При проведении аналогичных исследований, для общего представления о направлении движения подземных водных потоков исследуемого района необходимо иметь карты гидроизопьез глубоких водоносных горизонтов. На этих схемах или планах по очертаниям линий равных гидравлических напоров или гидроизопьез можно косвенно судить о степени дренирующего воздействия речных водотоков на подземные воды, особенно в местах пересечений или сближений этих изолиний с поверхностными водными объектами (рис. 30, 31). Но тут необходимо заметить, что в отдельных районах со слабой гидрогеологической изученностью, изолинии гидравлических напоров подземных водоносных горизонтов на планах и картах иногда проведены схематически, и не всегда точно отображают реальную картину движения глубокого подземного потока. Подводя итоги нашей работы, можно сделать очень важный вывод, а именно, аномальные участки интенсивной разгрузки подземных не возникают на территории речных бассейнов с низкими параметрами подземного или минимального меженного стока и там где преобладают неблагоприятные гидрогеологические условия. Здесь же возможны отдельные выходы подземных вод в локальных зонах, реже на протяженных речных участках, но которые не являются очагами интенсивной разгрузки глубоких подземных вод. В отличие от этих водотоков, на других больших, средних реках и отдельных малых реках с повышенными фоновыми характеристиками подземного и меженного стока с большой долей вероятности могут наблюдаться крупные и мощные очаги интенсивной разгрузки подземных вод, которые являются основными объектами наших исследований.

### **Заключение**

При проведении научных изысканий нами было установлено, что тепловая съемка ИСЗ «Ландсат-8» является более эффективной по сравнению с ИК-фотосъемкой ИСЗ «Ландсат-5», при решении задач по выявлению участков повышенного подземного притока в реки, озера и водохранилища. В настоящее время территория исследуемого района постоянно наблюдается с нескольких зарубежных и российских спутников Земли. Материалы этих космических съемок – тепловые и многозональные космические снимки, полученные в летне-осенний период разных лет, в будущем можно использовать в аналогичных научных исследованиях, совместно с обзорными геологическими, геолого-структурными, гидрогеологическими, гидрологическими, физико-географическими картами, геологическими и гидрогеологическими разрезами, а

также схемами линеаментов, выделенных различными методами. Из гидрологических материалов особое внимание должно уделяться картам и табличным данным минимального меженного и подземного стока рек, а также предыдущим техническим отчетам по ранее выполненным гидрометрическим работам на реках изучаемого района в период низкого стока.

В конечном итоге вся полученная гидрологическая и гидрогеологическая информация позволяет на предварительном этапе оценить перспективы возникновения очагов интенсивной разгрузки подземных вод на исследуемой территории. Как ранее упоминалось, метеорологические факторы значительно влияют на условия съемки из космоса в разных диапазонах спектра. В любом случае, при анализе фотоматериалов космической ИК-съемки необходимо знание отдельных климатических и гидрологических характеристик на момент съемки и в предшествующий период, в которые входят: облачность, температура воздуха, атмосферные осадки, влажность почвы, уровни грунтовых вод и т.д. Использование космических снимков дальнего ИК-диапазона в наших исследованиях является прямым и самым коротким методом решения нашей задачи. Но вместе с тем, этот способ, из-за недостаточного разрешения тепловой космической съемки, не во всех случаях позволяет выявить участки повышенной разгрузки подземных вод, особенно на очень крупных и средних реках. В процессе проведения аналогичных научных работ для лучшей визуализации изображений температурных аномалий на тепловых космических снимках необходимо максимально использовать современные методы их электронной обработки.

В конечном итоге результаты наших исследований, с выделенными участками температурных аномалий речных и озерных вод на ИК-фотоснимках, могут быть использованы в будущем при проведении меженной гидрометрической съемки, гидрогеохимического опробования, термометрических и кондуктометрических исследований на реках, озерах и водохранилищах изучаемого региона.

#### **Список литературы**

1. Атлас Калининской (Тверской) области. ГУГК, 1964.
2. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Методика дешифрирования разновременных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне. Вестник МГУ. Серия 5. География. №3. 2014. С. 35-42.
3. Геологические карты, новые версии: листы:0-36-XXIV; 0-37-XXV;0-37-XXVI; ВСЕГЕИ,2011-2017. Гидрогеологические карты, старые версии: листы 0-36-XIX, 1977 г.; 0-36-XXIV, 1977 г.; 0-37-XXV, 1966 г.; 0-37-XXVI, 1967 г.; ГУЦР, Мингео РСФСР.
4. Гидрогеология СССР. Том 1. Московская и смежные области. Недра. М., 1966. С. 423.
5. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. Гидрометеиздат, Л., 1975. С. 291.
6. ГИС-Атлас «Недра России» Тверская область. ВСЕГЕИ. 2009.
7. Грищенко М.Ю. Методика дешифрирования тепловых космических снимков для картографирования природных и антропогенных территорий. Автореферат кандидатской диссертации. МГУ, географический факультет. 2015. С. 199.

8. Каталог буровых на воду скважин Калининской области. Том II. Часть 2. Гидро-режимная партия 1960. С. 190.
9. Космические снимки. Используемые интернет-порталы: <https://gis-lab.infocom>; <https://earthexplorer.usgs.gov>; [https //apps.sentinel-hub](https://apps.sentinel-hub).
10. Кронберг П. Дистанционное изучение земли. Мир, 1988. С.350.
11. Лапина Е.Е., Чекмарева Е.А. Оценка современного состояния подземных вод в береговой зоне Иваньковского водохранилища и его притоков в зимний период. Вестник ТВГУ.2018. – №3. С. 45-60.
12. Научно-прикладной справочник «Основные гидрологические характеристики бассейна Верхней Волги» ГГИ, Ливны, 2015. С. 129.
13. Проект «Руслорыпрямительные работы на реке Медведица, вблизи а/д моста автодороги с. Погорельцы – д.Медведиха», Тверьавтодорпроект, Тверь, 1993. С. 120.
14. Яковлев П.И., Просеков А.М. (научный руководитель). Отчет по теме 057-87 «Выявить очаги интенсивной разгрузки подземных вод дистанционными методами (на примере Калининской области)» Тверь, ВНИГИК, 1990. С. 145.