

А.С. БАЛЫБИНА, И.Е. ТРОФИМОВА

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, balybina@irigs.irk.ru, trofimova@irigs.irk.ru

РОЛЬ ТЕРМИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ВОЗНИКНОВЕНИИ ВЕСЕННЕ-РАННЕЛЕТНИХ ПАВОДКОВ НА ЛЕВЫХ ПРИТОКАХ РЕКИ АНГАРЫ

Температурные характеристики атмосферного воздуха и почвы являются одним из основных показателей, определяющих метеорологические условия выбранного периода. Однако к ним относятся не только собственно сама температура воздуха и почвы, но и такие метеорологические параметры, как начало сезонного промерзания и оттаивания почвы, глубина промерзания почвы, что в свою очередь немало зависит от сроков снеготаяния. Для оценки термической обусловленности возникновения весенне-раннелетних паводков на реках Ие и Уде в 2019 г. решено несколько задач. Рассмотрен многолетний термический режим атмосферы и почвы по данным метеорологических станций Тулун, Нижнеудинск, Алыгджер. Показана многолетняя динамика термических показателей и рассчитаны тенденции их изменений, проанализированы особенности термических режимов мая–июня 2019 г., предшествующих паводку. Установлено, что для долин рек Ии и Уды характерна высокая согласованность термических режимов воздуха и почвы. За последний 30-летний период зафиксированные положительные (тем более отрицательные) аномалии температуры воздуха в мае–июле не были крайне высокими, способными оказывать влияние на физико-географические процессы, в том числе и на водный режим речного стока. Температура воздуха и почвы в мае–июле 2019 г. была близка к средним многолетним значениям и не оказала существенного влияния на силу и продолжительность аномального паводка. Косвенное влияние могло оказать переувлажнение почвы за счет прошедших сильных дождей второй декады июня, так как наличие «нулевой завесы» в почвенной толще препятствует прохождению влаги на глубину более 80 см.

Ключевые слова: паводок, температура почвы, температура воздуха, сезонная мерзлота, «нулевая завеса», Тулун.

A.S. BALYBINA, I.E. TROFIMOVA

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, balybina@irigs.irk.ru, trofimova@irigs.irk.ru

THE ROLE OF THERMAL RESOURCES IN THE EMERGENCE OF SPRING-EARLY SUMMER FLOODS ON THE LEFT TRIBUTARIES OF THE ANGARA RIVER

Temperature characteristics of the atmospheric air and soil are among the main indicators that determine the meteorological conditions of the selected period. However, they include not only the actual temperature of the air and soil, but also meteorological parameters, such as the beginning of seasonal freezing and thawing of the soil and the depth of soil freezing, which, in turn, depends considerably on the period of snowmelt. Several issues have been dealt with to assess the thermal conditions for the occurrence of spring and early-summer floods on the Iya and Uda rivers in 2019. We examined the long-term thermal regime of the atmosphere and soil by using data from weather stations Tulun, Nizhneudinsk and Alygdzher. The long-term dynamics of thermal indicators is shown, trends in their changes are calculated, as well as analyzing the characteristics of the thermal regimes in May–June of 2019 prior to the flood. It was found that in the valleys of the Iya and Uda rivers there is a high consistency of thermal regimes of the air and soil. Over the last 30-year period, the recorded positive (especially negative) air temperature anomalies in May and July were not extremely high, capable of influencing physical and geographical processes, including the water regime of rivers. The air and soil temperatures in May–July 2019 were close to the average long-term values and did not have a significant impact on the strength and duration of the abnormal flood. An indirect effect could have been caused by soil overexposure due to the past heavy rainfall of the second decade of June, because the presence of a “zero curtain” in the soil column prevents the passage of moisture deeper than 80 cm.

Keywords: flood, soil temperature, air temperature, seasonal permafrost, “zero curtain”, Tulun.

ВВЕДЕНИЕ

К динамическим факторам, определяющим режим речного стока, относятся климатические условия местности, по которой протекают реки. Из климатических показателей целесообразно рассмо-

треть термические ресурсы территории, которая представлена предгорной Иркутско-Черемховской равниной и горной системой Восточный Саян (юг Иркутской области). По данным [1], именно юг Иркутской области входит в район с высоким уровнем опасности наводнений.

Атмосферные осадки и температура воздуха определяют максимальные значения, продолжительность и объем наводнений. Влияние температуры почвы носит двойственный характер. При отрицательных температурах почва играет роль запирающего слоя, препятствуя прохождению влаги внутрь и приводя к увеличению поверхностного стока. При оттаивании или отсутствии промерзания почвогрунтов происходит инфильтрация поверхностных вод, что снижает поверхностный сток. Таким образом, чем ниже зимние температуры воздуха и почвы, тем больше глубина промерзания почвогрунтов и тем сильнее коэффициент стока в период наводнений при прочих равных условиях [2]. По данным некоторых зарубежных исследователей [3, 4], именно термические ресурсы станут основным климатическим фактором увеличения количества наводнений в северных широтах.

Для оценки особенностей климатических условий 2019 г., спровоцировавших в самом конце июня экстремальный паводок на левых притоках р. Ангары, целесообразно последовательно решить несколько задач:

- оценить многолетний термический режим приземной атмосферы и почвы (почвогрунтовой толщи) по данным метеорологической станции Тулун, расположенной в долине р. Ии, где и проявился самый экстремальный паводок с трагическими последствиями;
- сопоставить многолетние термические условия на метеостанции Тулун и на станциях Нижнеудинск и Алыгджер, которые расположены в долине р. Уды, простирающейся по сходной в орographicком отношении территории, однако паводок в этой ситуации проявился в несколько меньшей степени;
- сравнить особенности термических режимов мая–июня 2019 г., предшествующие экстремальному паводку на левых притоках р. Ангары, с характером их многолетних режимов в данный временной отрезок.

МЕТОДЫ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Рассмотрение термических режимов приземной атмосферы и почвы в совокупности обусловлено тем, что, кроме сложного сочетания многих внешних и внутренних факторов влияния на температуру почвы, почвенные условия летом определяет температура приземного слоя воздуха, зимой — температура воздуха и снежный покров. Оценка связей между температурами воздуха и верхних горизонтов почвы самого теплого месяца года разных местоположений (долины на слаборасчлененной равнине и в горах) показала определенную их согласованность, хотя некоторое различие в соотношениях температур имеется. Это связано с влиянием на температуру почвы не только климатических условий, но и сложного сочетания других физико-географических факторов [5].

Анализ связей между температурами воздуха и почвы самого холодного месяца года и между температурой воздуха и наибольшей за зиму средней мощностью снежного покрова показал, что именно эти данные определяют температурный режим почвы. Однако как в связях показателей самого теплого периода года, так и в связях самого холодного периода прослеживается влияние локальных физико-географических факторов. Вместе с тем отмечено, что связь между мощностью снежного покрова и температурой почвы теснее, чем между температурой почвы и температурой воздуха [6]. Это свидетельствует о том, что термическое состояние почв можно рассматривать в качестве интегрального показателя общих климатических ресурсов территории, имеющих ключевое значение в физико-географических процессах, к числу которых можно отнести и формирование весенне-летних паводков.

Оценка многолетних (1964–2000 гг.) климатических условий исследуемой территории проведена по опубликованным справочным материалам Иркутского территориального управления по гидрометеорологии [7–9].

Динамика средних месячных температур воздуха и почвы на глубине 40 см (май–июль) с 1985 по 2015 г. на метеостанции Тулун рассмотрена с использованием базы данных ВНИГМИ-МЦД [10] (<http://www.meteo.ru>). Оценка термических условий 2018–2019 гг., а также показатели влажности почвы за этот период на метеостанциях Тулун, Икей и Алыгджер проанализированы по данным, предоставленным ФГБУ «Иркутское УГМС».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многолетний термический режим приземной атмосферы и почвы по данным метеостанции Тулун. Некоторое своеобразие климатических условий рассматриваемой территории связано с особенностями подстилающей поверхности. Район экстремального паводка 2019 г. в основном характеризуют данные, полученные на площадке метеостанции Тулун, расположенной на северной окраине западной оконечности Иркутско-Черемховской равнины, в широкой террасированной долине р. Ии. Причем в зависимости от места расположения пункта измерений показателей (метеостанция неоднократно переносилась на абс. высоты над ур. моря от 452 до 523 м) и периода их осреднения многолетняя температура воздуха января изменялась от $-20,5$ до $-22,5$ °С, июня и июля — от $14,3$ до $15,2$ °С и от 17 до 18 °С соответственно, годовая — от $-1,6$ до $-2,4$ °С. Суммы средних суточных температур воздуха выше 10 °С составили $1450-1520$ °С. Температура выше 15 °С сохранялась около $50-55$ дней (в июне-августе). Суточная температура воздуха выше 0 °С наблюдается с середины апреля, ниже 0 °С — с середины октября. В апреле-июле температура воздуха выше температуры почвы на глубине $0,2$ м, в остальное время года — ниже, причем значительно. Характерно, что в апреле совпадают температуры воздуха и всего почвенного профиля, близкие к 0 °С, в сентябре — температуры около 10 °С (табл. 1).

Образование устойчивого снежного покрова в среднем происходит в конце октября, окончательный его сход — в последних числах апреля (иногда в первых числах мая). В среднем снежный покров сохраняется около 175 дней, его мощность около 28 см при крайних значениях $15-41$ см (открытое место установки рейки). На защищенном от ветра участке, в поле и в лесу его мощность несколько больше.

На слаборасчлененной равнине климатические условия оценивались и в других местоположениях. Значения температуры воздуха на метеостанциях Шерагул, Тулюшка и Икей (абс. высота над ур. моря $498-528$ м) варьируют в январе от $-22,1$ до $-22,9$ °С, июне — от 14 до $14,4$, июле — от $16,8$ до $17,3$ °С, что сопоставимо со значениями на основной метеостанции (Тулун). Мощность снежного покрова на площадке метеостанции Икей — 32 см при крайних значениях 15 и 54 см (место установки рейки защищенное). Средняя глубина сезонного промерзания почвы здесь $1,7$ м (крайние значения $1,4$ и $1,9$ м). В той части долины р. Ии, которая пересекает равнину, и в ее ближайшем окружении отмечены острова многолетней мерзлоты [11]. Почвенный покров здесь неоднороден: дерново-подзолистые и карбонатные, серые лесные, болотные и луговые заболоченные, торфянисто-перегнойные, аллювиальные заболоченные (в речных долинах) и другие почвы. Малые площади занимают лесостепные черноземы выщелоченные. По механическому составу преобладают суглинистые и супесчаные почвы [12, 13].

Таблица 1

Средние месячные значения температуры почвы (°С) на глубинах и температуры воздуха (°С) по данным метеостанций Тулун и Алыгджер

Месяц	Тулун							Алыгджер				
	температура почвы на глубине (м)						температура воздуха	температура почвы на глубине (м)				температура воздуха
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6		0,2	0,4	0,8	1,6	
I	-4	-2,9	-1,8	-0,7	0,4	1	-21,5	-13,8	-10,9	-5,7	0,8	-16,7
II	-4,8	-3,9	-2,9	-1,8	-0,4	0,4	-18,3	-13,7	-11,9	-7,8	-0,6	-14,6
III	-3,7	-3,1	-2,5	-1,8	-0,8	0,1	-10,2	-6,5	-6,3	-5,3	-1,6	-7,8
IV	-0,6	-0,9	-0,9	-0,9	-0,6	-0,1	0	-0,8	-1,2	-1,6	-0,8	-0,2
V	4,9	2,9	1,55	0,2	-0,2	0	7,7	4,3	1,4	-0,2	-0,2	6,2
VI	12,1	9,5	7,1	4,6	1,7	0,9	14,4	11,2	7,8	2,1	-0,1	12,2
VII	15,6	13,6	11,7	9,7	7	5,4	17,2	13,7	11,2	6,7	0,7	13,8
VIII	14,9	14	12,9	11,8	10,1	8,8	14,1	13,2	12	9,3	4,3	12
IX	9,8	10	10	10	9,6	9,2	7,3	7,9	8,3	7,8	5,6	6,4
X	3	4,1	5	5,8	6,7	7,1	-0,6	1,5	2,8	3,9	4,5	0,1
XI	-1	0,2	1,2	2,2	3,4	4,2	-11,8	-3	-0,3	1,5	2,9	-8,9
XII	-2,8	-1,6	-0,6	0,5	1,5	2,2	-20,1	-9,7	-6,7	-1,1	1,8	-15,1

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, близкие к 0 °С в весенне-раннелетний период.

На примере метеостанции Тулун, которая является единственной в районе весенне-раннелетнего паводка 2019 г., где проводится многолетнее слежение за температурой почвы (тяжелый суглинок), в годовом срезе показано ее распределение по всему профилю (0,2–3,2 м) (рис. 1, а).

На глубине 0,2 м наибольшая температура в годовом цикле достигает 15,6 °С (из значений в июле–августе), на глубине 1,6 м — 9,2 °С (в основном в сентябре). Наименьшая температура составляет –5,1 °С (из значений января–февраля) на глубине 0,2 м и –0,3 °С (апрель–май) на глубине 1,6 м. Средняя температура за год в целом по профилю составляет около 3,3 °С. Летнее прогревание почв здесь, как и по всей Иркутско-Черемховской равнине, по качественной оценке соответствует умеренно теплomu типу. Зимнее охлаждение может быть как умеренно холодное (метеостанции Тулун и Тайшет), так и холодное на большей части равнины [5].

Изменение наибольшей (летней) температуры по глубине соответствует инсоляционному типу (температура с глубиной понижается), наименьшей (зимней) — радиационному типу (температура с глубиной повышается). Вместе с тем для оценки роли термических ресурсов в возникновении весенне-раннелетних паводков в первую очередь необходимо рассмотреть климатические условия в период смены отрицательной температуры на положительную и время схода снежного покрова.

Так, период отрицательной температуры в верхней части почвенного профиля (до 0,4 м) наступает в ноябре (–1 °С). Этому сопутствуют температура воздуха –11,6÷–12,4 °С и устойчивый снежный покров (до 11 см). Далее поступательно отрицательная температура проникает в нижележащие почвенные слои (в январе до глубины 0,8 м, в отдельные годы до 1,2 м). В марте–мае она достигает глубины 1,6–1,9 м (сезонное промерзание), что соотносится с температурой воздуха –10,2÷–11,4 в марте, с температурами около 0 °С в апреле, с температурой 7,4–7,7 °С в мае. Наибольшая за зиму средняя мощность снежного покрова — 24 см (март). Его полный сход характерен для третьей декады апреля. В апреле и частично в мае до глубины 1,6 м сохраняется температура около 0 °С, в то время как в нижележащей толще ее значения положительные (0,7–1,5 °С) (см. рис. 1, а). Таким образом, в апреле практически отсутствуют внутрипочвенные перепады температуры (термоградиенты), что затрудняет поток тепла. А это, как известно из теории единства процессов тепло- и влагопереноса, является препятствующим фактором в перемещении влаги в почве. Более того, в феврале–мае на

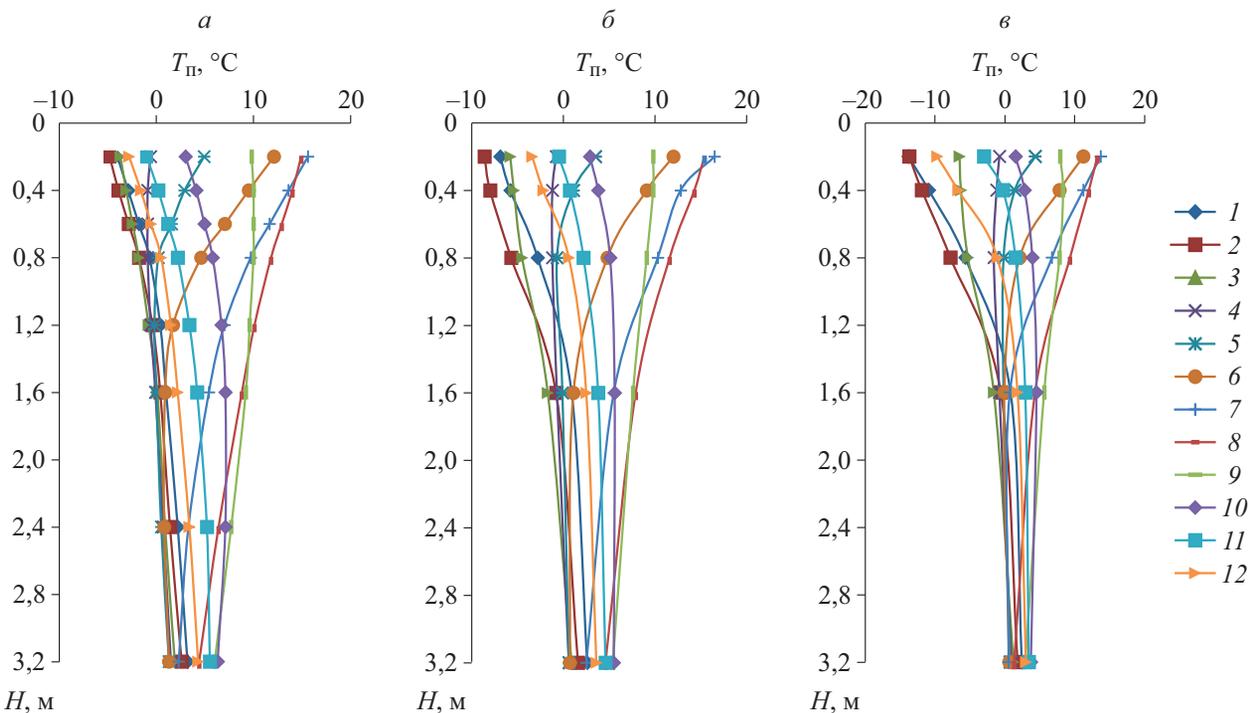


Рис. 1. Распределение средней месячной температуры почвы ($T_{п}$, °С) по почвенному профилю (0,2–3,2 м) на метеостанциях Тулун (а), Нижнеудинск (б) и Алыгджер (в) (1964–2000 гг.).

Месяцы: 1 — январь, 2 — февраль, 3 — март, 4 — апрель, 5 — май, 6 — июнь, 7 — июль, 8 — август, 9 — сентябрь, 10 — октябрь, 11 — ноябрь, 12 — декабрь.

глубине 1,6 м сохраняется нулевая температура (так называемая нулевая завеса) (см. табл. 1, рис. 1, а), что, естественно, задерживает поступление тепловых импульсов в нижележащие слои почвенного профиля.

Период нулевых и близких к ним температур сопровождается фазовыми переходами почвенной влаги, которые часто составляют несколько месяцев. Поэтому важно учитывать продолжительность существования «нулевой завесы», которая, как правило, на разных глубинах почвенного профиля различная и увеличивается по профилю сверху вниз (на глубине 0,2 м в течение апреля, на глубине 1,6 м в феврале—мае и даже в июне). В районах, где господствует многолетняя мерзлота, больше внимания уделяется именно наличию «нулевых завес» и их продолжительности [14, 15]. По нашему предположению, в условиях умеренно теплых почв летом и умеренно холодных зимой именно температуры, близкие к 0 °С, в почвенном профиле в апреле можно отнести к точке отсчета формирования летнего гидротермического режима почв.

Период положительных температур, сопровождающийся процессом оттаивания почвы, начинается в верхнем ее слое в конце апреля—начале мая. В мае при средней месячной температуре воздуха 7,4–7,7 °С положительная температура почвы последовательно проникает до глубины 1 м и прерывается нулевой температурой (слой 1–1,6 м), которая с глубиной сменяется положительной (см. табл. 1, рис. 1, а). В этот период за счет влаги при оттаивании почвы и снеговой воды тяжелосуглинистая почва достаточно увлажнена (качественная оценка). В июне происходит быстрое нагревание почвы до глубины 1,2 м (12,1 и 1,7 °С на глубинах 0,2 и 1,2 м соответственно). Температура в это время остается стабильно положительной (0,9–1,3 °С) и в нижней части почвенного профиля. Перепад температуры в слое 0,2–1,2 м достаточно высок (10,4 °С). Согласно выводам многочисленных исследований (на качественном уровне), это сопровождается перемещением влаги в том же направлении. Термическому состоянию почв в июне сопутствует температура воздуха 14,4–14,6 °С. В июле и августе температура почвы продолжает повышаться. В июле глубина проникновения температуры 10 °С в почву составляет 0,7 м, в августе — 1,2 м. Перепады температуры снижаются до 8,6 °С в июле и 4,8 °С в августе. В сентябре верхняя часть профиля начинает охлаждаться, и по всему почвенному профилю температура выравнивается, т. е. происходит переход к формированию зимнего гидротермического режима почв.

Хотя атмосферное увлажнение на равнине в мае—июне характеризуется как полусухое (и даже засушливое) [16], суглинистые почвы, преобладающие на равнинной части рассматриваемой территории, плохо отдают свою влагу и ограниченно принимают атмосферные осадки. Продолжительность засушливого периода достигает 12–18 дней, в отдельные сезоны до 30 дней. Как правило, к моменту наступления весенней засухи в метровом слое почвы содержится высокий запас продуктивной влаги, а повышенному иссушению подвержен в основном поверхностный слой почвы [12].

В той части долины р. Ии, которая пересекает Восточный Саян, и в самом нагорье метеорологические наблюдения не ведутся, но, по данным близлежащей метеостанции Белозиминская (абс. высота над ур. моря 760 м), отмечается возрастание зимней (январь) температуры воздуха с высотой (температурная инверсия) и убывание летней (июль). Это в целом характерно для орографической системы Иркутско-Черемховская равнина – Восточный Саян, хотя вертикальный градиент зависит от экспозиции и склонов, диапазона высот и варьирует во времени [17]. Отроги Восточного Саяна, расположенные перпендикулярно движению господствующих северо-западных воздушных масс, естественно, получают большее количество атмосферных осадков, чем поверхность равнины. Атмосферное увлажнение характеризуется как влажное и избыточно влажное [16]. В горной части бассейна р. Ии преобладают выходы плотных коренных пород. Рыхлые отложения развиты слабо и приурочены главным образом к долинам. Здесь почвенный покров маломощный, каменистый, местами развиты торфяно-подзолистые почвы, распространены россыпи (курумы) [12], господствуют зоны прерывистой и сплошной многолетней мерзлоты [11]. Поэтому природные условия горной части бассейна в основном препятствуют инфильтрации влаги в почву и ее аккумуляции и способствуют быстрому стеканию дождевых и талых вод в реки.

Сравнение многолетних термических условий на метеостанциях Нижнеудинск и Алыгджер с условиями метеостанции Тулун. Проведение оценки многолетних термических режимов приземной атмосферы и почвенного профиля на территории простирается р. Уды, где паводок проявился в несколько меньшей степени, чем в районе р. Ии, целесообразно, поскольку и в том, и в другом случае ландшафтно-географические условия близки. Однако в отношении р. Уды можно проследить особенности термических режимов и на западной оконечности равнины (метеостанция Нижнеудинск), и в долине р. Уды (метеостанция Алыгджер), прорезающей Восточный Саян.

Средняя многолетняя температура приземной атмосферы в Нижнеудинске (абс. высота над ур. моря 415 м) практически в течение всего года лишь на 0,2–0,8 °С выше, чем в Тулуне. В апреле она составила 0,8 °С, в июне 15 °С, в июле 17,4 °С. Наибольшая за зиму средняя мощность снежного покрова здесь 21 см, максимальная — 36, минимальная — 8 см. В конце апреля, как правило, открытые участки полностью освобождаются от снега. Происходит оттаивание самого верхнего суглинисто-супесчаного слоя почвы (до 20 см). Как и в условиях долины р. Ии (Тулун), здесь именно особенности теплообмена в почвенном профиле в апреле, обусловленного температурами около 0 °С, можно отнести к точке отсчета формирования летнего гидротермического режима почв. В этот период незначительная отрицательная температура сохраняется до 2,6 м (сезонное промерзание) (см. рис. 1, б), что препятствует впитыванию снеговой влаги почвой. В мае происходит быстрое нагревание почв до глубины 0,5 м при сохранении незначительных отрицательных температур в слое 0,5–1,6 м. В июне–августе весь почвенный профиль (включение гальки в нижней части почвенной толщи) имеет положительные температуры. В целом в теплый период года умеренно теплые условия относятся к почвам как в Тулуне, так и в Нижнеудинске, хотя в зимний период во втором случае почвы охлаждаются несколько сильнее.

Метеостанция Алыгджер (абс. высота над ур. моря 935 м) занимает местоположение в долине р. Уды на стыке горных плоскогорий с абс. высотами над ур. моря 1500–1800 м и 1800–2200 м. Здесь температура приземной атмосферы с ноября по март на 1,6–4,6 °С выше, а с мая по сентябрь ниже на 1,4–3,6 °С, чем в Нижнеудинске. В апреле и октябре значения температур практически равны. Различия температуры воздуха на метеостанциях Тулун и Алыгджер в годовом срезе аналогичны ситуации на станциях Нижнеудинск и Алыгджер, близки они и в количественном отношении (см. табл. 1). В этой части долины р. Уды наибольшая за зиму средняя мощность снежного покрова всего лишь 3–5 см, хотя в других горных долинах (р. Гутара) она может достигать 13–18 см.

Характер распределения температуры почвы по глубине в Алыгджере (см. рис. 1, в) повторяет ее распределение на метеостанциях Тулун и Нижнеудинск. Различие заключается лишь в количественных значениях: в горной долине р. Уды почвы зимой сильнее охлаждаются, а летом слабее нагреваются [5].

Вместе с тем ощутимые отклики природных явлений (в том числе и весенне-раннелетних паводков) на термические колебания характерны в годы положительных и отрицательных отклонений от средних многолетних значений показателей. Для метеостанции Тулун рассмотрена картина динамики средних месячных температур воздуха и почвы на глубине 40 см (май–июль) за период с 1985 по 2015 г. Многолетний ход майской, июньской и июльской температуры воздуха имеет свои особенности. Так, в мае при средней многолетней температуре 9,5 °С отмечено четыре случая (1990, 1992 и 1999, 2002 гг.) практически с равными положительными отклонениями от средней величины, когда температура достигала 12–13 °С. В остальное время значения температуры находились в основном в интервале 8–10 °С. В результате общий линейный тренд за последние 30 лет не выявлен. В июне средняя многолетняя температура воздуха составляет 15,2 °С. Для многолетнего хода характерны два цикла: первый — с 1985 по 1999 г. (интервал температур от 11,5 до 16,5 °С); второй, с более высокими значениями (от 14 до 18,2 °С), — с 2000 по 2015 г. Положительный линейный тренд составил 1 °С/10 лет. В июле средняя многолетняя температура достигла 18 °С. В ее ходе не отмечено существенных отклонений от среднего значения за 30 лет. Исключение составляет 1988 г., когда температура оказалась около 14,4 °С, и 1996 г. с температурой 20,8 °С. В целом, по данным с 1985 по 2015 г., линейный тренд температуры воздуха в июле практически отсутствует — 0,05 °С/10 лет при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,0013$, что статистически незначимо.

Колебания температуры воздуха и почвы на глубине 40 см достаточно синхронны. Коэффициент корреляции между ходом температуры воздуха и почвы в мае и июле составил 0,6; в июне — 0,7. Вместе с тем существенных отклонений от средней многолетней температуры почвы за 1985–2015 гг. на глубине 40 см (в мае — 3, июне — 9, июле — 13,4 °С) не наблюдалось. Самое низкое значение в мае (1,1 °С) отмечалось в 2006 г., а самое высокое (около 4 °С) — в 1990, 1997 и 2007 гг. Линейный тренд температуры почвы в мае равен 0,08 °С/10 лет при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,008$, что является статистически незначимым. В июне всплески крайних значений температуры почвы достигают 7,2 и 10,7 °С, в июле — 10,8 и 14,9 °С. Трендовые величины составляют 0,5 °С/10 лет в июне и 0,6 °С/10 лет в июле при $R^2 = 0,21$ и 0,28 соответственно. Между тем для отмеченного некоторого повышения температур воздуха и почвы с 1985 по 2015 г. постоянный рост по восходящей нехарактерен. Величины трендов в основном определяются наличием невыраженных циклов или всплесков положительных и отрицательных отклонений от средних многолетних температур. Тем не менее средние температуры воздуха в мае–июле за период 1985–2015 гг. оказались на 1,8 °С в мае, 0,8 °С в июне и июле выше, чем в 1951–1980 гг.

Особенности термических режимов мая–июля 2019 г., предшествующие экстремальному паводку на левых притоках р. Ангары. Динамика средней месячной температуры воздуха с октября 2018 по апрель 2019 г. приведена в табл. 2.

Как можно видеть, температура воздуха равнинных местоположений (Тулун, Икей) в ноябре–феврале различается на 1,0–2,9 °С (теплее в Тулуне). В горной долине р. Уды (Алыгджер) в эти месяцы она на 2,3–3,0 °С выше, чем в Тулуне, и на 3,4–5,7 °С выше, чем на метеостанции Икей. С одной стороны, здесь распределение температуры воздуха по высоте по профилю равнина – горы можно отнести к зимней инверсии, с другой – лишь к локальным проявлениям температуры воздуха в глубокой горной долине р. Уды, зажатой высокими плоскогорьями. Характерно, что в октябре, марте и апреле температура воздуха на равнине и в горной долине р. Уды сближается. Однако сезонный ход температуры воздуха на рассматриваемых метеостанциях абсолютно идентичен. Отрицательные средние месячные значения наблюдались с ноября 2018 до марта 2019 г. Самым холодным был декабрь 2018 г. В октябре 2018 и апреле 2019 г. температура воздуха стала положительной, причем на рассматриваемых метеостанциях она сходна. Такая ситуация соответствует климатической норме, за исключением того, что обычно самым холодным месяцем является январь.

Динамика средней суточной температуры воздуха с 1 мая по 31 июля 2019 г. на рассматриваемых метеостанциях совпадает (рис. 2). Для мая характерны существенные колебания температуры (практически от нулевых значений до 18 °С). Средняя за месяц составила 8,6–8,8 °С на равнине и 6,4 °С в горной долине р. Уды. В июне–июле ход температуры плавный. Ее значения в июне составляют 16, 16,2 и 13,4 °С, в июле 18,2, 18,3 и 16 °С на метеостанциях Икей, Тулун и Алыгджер соответственно. В Тулуне температура, предшествовавшая паводку, в мае была на 0,7 ниже, а в июне на 1 °С выше средней за 1985–2015 гг., в июле она находилась практически на уровне средних многолетних значений. В горной долине температура воздуха в мае–июле 2019 г. несколько превышала среднюю многолетнюю величину. Однако к аномальным отклонениям температуры воздуха в исследуемый период отнести сложно.

Таблица 2

Температура воздуха в осенний, зимний и весенний периоды в разных местоположениях

Месяц	Средняя месячная температура воздуха, °С		
	Метеостанция		
	Тулун	Икей	Алыгджер
2018 г.			
Октябрь	3,3	2,5	2,5
Ноябрь	–10,9	–12,1	–8,6
Декабрь	–19,4	–20,4	–17,0
2019 г.			
Январь	–16,0	–18,9	–13,2
Февраль	–18,3	–19,6	–15,3
Март	–2,5	–2,5	–2,5
Апрель	2,8	2,9	2,1

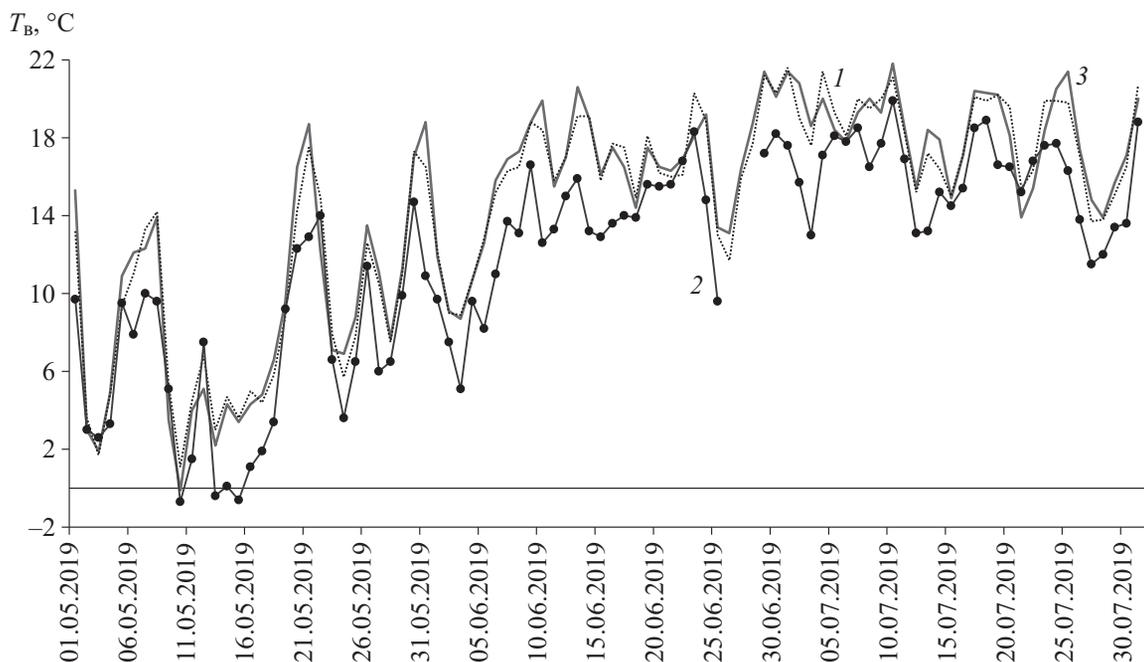


Рис. 2. Динамика средней суточной температуры воздуха ($T_{в}$, °С) за период с 1 мая по 31 июля 2019 г. Метеостанции: 1 – Тулун, 2 – Икей, 3 – Алыгджер.

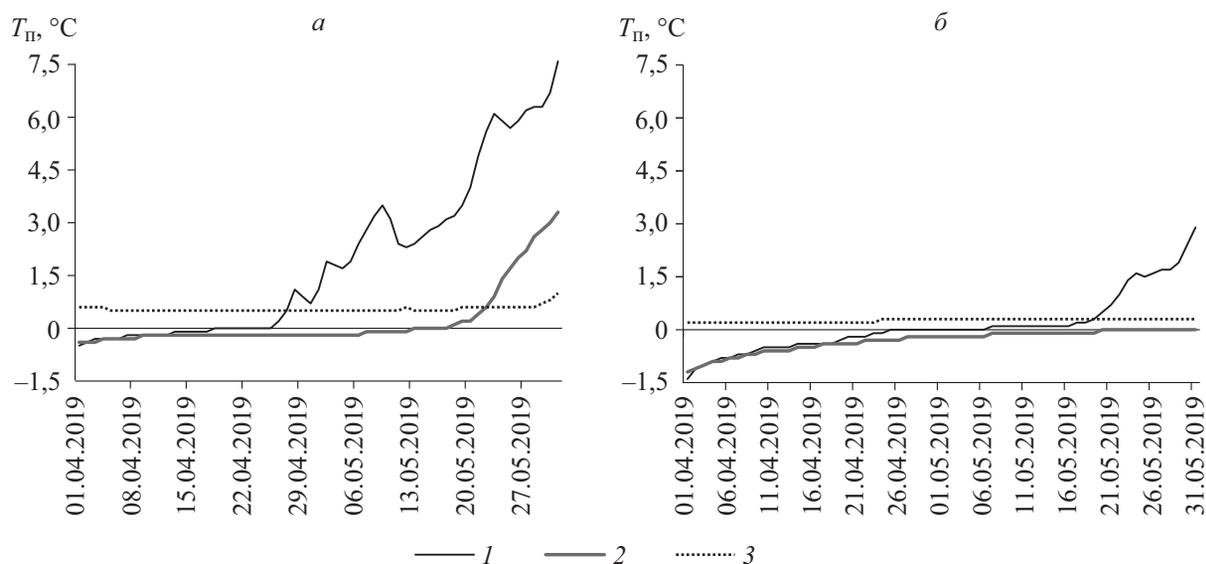


Рис. 3. Средняя суточная температура почвы ($T_{п}$, °C) на глубине 0,4 м (1), 0,8 м (2), 1,6 м (3) за период с 1 апреля по 31 мая 2019 г. на метеостанциях Тулун (а) и Алыгджер (б).

В динамике средней суточной температуры почвы хорошо выражен длительный период температур около 0 °C (рис. 3), которые, как отмечалось выше, будучи «нулевой завесой», препятствуют поступлению тепловых импульсов в нижележащие слои почвенного профиля. На метеостанции Тулун положительная температура на глубине 40 см отмечена с 26 апреля. Почти 8 °C она достигла 31 мая. На глубине 80 см переход от температур около 0 °C к положительным произошел 18 мая, 3,3 °C она достигла 31 мая. На протяжении всего рассматриваемого периода на глубине 1,6 м температура была слабоположительной (сезонное промерзание 144 см на метеостанции Тулун, 105 см — на метеостанции Икей). Следовательно, почвенный профиль в Тулуне к концу июня был оттаявший и препятствий для прохождения влаги сверху вниз не было. На метеостанции Алыгджер «нулевая завеса» в почвенном профиле присутствует дольше, но она имеет разный период существования на отдельных глубинах. Здесь на глубине 40 см температуры около 0 °C отмечаются с 26 апреля до 16 мая, затем положительная температура быстро растет, в конце мая она уже достигает 3 °C. На глубине 80 см нулевая температура фиксируется с 7 мая. На глубине 160 см в апреле — мае температура слабоотрицательная (около 0 °C). По аналогии с существованием в многолетнем режиме (см. табл. 1) можно предположить, что температура, близкая к 0 °C, как минимум может сохраняться и в июне (информация за 2019 г. отсутствует). Принимая во внимание данные по метеостанции Алыгджер как единственно доступные для горной части бассейна р. Уды, можно сказать, что при наличии «нулевой завесы» прохождение влаги в глубь более 80 см в период обильных дождей представляется маловероятным.

Для оценки причин возникновения паводочной ситуации 2019 г., наряду с термическим ресурсом территории и режимом снежного покрова, важен такой показатель, как влажность почвы (максимальный запас продуктивной влаги в почве). Следует отметить, что на равнинных метеостанциях снеготаяние началось 3–12 марта и закончилось 3 апреля.

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на метеостанции Тулун на 8 мая составили 183 мм, 18 мая — 207 мм, 28 мая — 191 мм, что соответствует средним многолетним значениям (до 200 мм). Это свидетельствует о том, что до начала июня перенасыщения почвы влагой не было. Однако прошедшие во второй декаде июня (11 и 16 июня) обильные дожди [18] могли усугубить ситуацию, т. е. почва могла быть значительно переувлажненной.

Распределение температуры почвы по глубине в апреле–мае 2019 г. идентично среднему многолетнему распределению (табл. 3). Однако на метеостанции Тулун значения 2019 г. и в апреле, и в мае несколько

Таблица 3
Значения температуры почвы на глубинах

Метеостанция	Глубина, м	Температура, °C			
		2019 г.		средние многолетние	
		апрель	май	апрель	май
Тулун	0,4	-0,0	3,9	-0,9	2,9
	0,8	-0,2	0,6	-0,9	0,2
	1,6	0,5	0,6	-0,1	0
Алыгджер	0,4	-0,4	0,7	-1,2	1,4
	0,8	-0,5	-0,1	-1,6	-0,2
	1,6	0,2	0,3	-0,8	-0,2

выше средних многолетних значений. На метеостанции Алыгджер температура почвы в апреле 2019 г. существенно выше многолетней, а в мае они сопоставимы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, термический ресурс территории, влияющий на речной сток, в июне 2019 г. на реках Ие и Уде не стал фактором, определяющим аномальность паводка с катастрофическими последствиями для населения, экономики региона и т. д. Во-первых, температура воздуха и почвы, предшествующая паводку, была близка к средним многолетним значениям. Во-вторых, в почвенном профиле всегда присутствует такое явление, как «нулевая завеса», препятствующая теплообмену и перемещению влаги в почве. Очевидно, что основной климатической характеристикой экстремального паводка в июне 2019 г. стали обильные атмосферные осадки на фоне редкой синоптической ситуации.

Работа выполнена в рамках проекта НИР (АААА-А21-121012190059-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кичигина Н.В. Опасность наводнений на реках Байкальского региона // География и природ. ресурсы. — 2018. — № 2. — С. 41–51.
2. Владимиров А.М. Факторы, определяющие возникновение экстремальных расходов и уровней половодья // Учен. зап. Рос. гос. гидромет. ун-та. — 2009. — № 9. — С. 22–39.
3. Bloshl G., Hall J., Parajka J., Perdigao R., Merz B., Arheimer B., Aronica G.T., Bilibashi A., Bonacci O., Borga O., Čanjevac I., Castellarin A., Chirico G.B., Claps P., Fiala K., Frolova N., Gorbachova L., Gül A., Hannaford J., Harrigan S., Kireeva M., Kiss A., Kjeldsen T.R., Kohnová S., Koskela J., Ledvinka O., Macdonald N., Mavrova-Guirguinova M., Mediero L., Merz R., Molnar P., Montanari A., Murphy C., Osuch M., Ovcharuk V., Radevski I., Rogger M., Salinas J.L., Sauquet E., Šraj M., Szolgay J., Viglione A., Volpi E., Wilson D., Zaimi K., Živković N. Changing climate shifts timing of European floods // Science. — 2017. — Vol. 6351. — P. 588–590.
4. Arheimer B., Lindstrom G. Climate impact on floods: changes in high flows in Sweden in the past and the future (1911–2100) // Hydrology and Earth System Sciences. — 2015. — Т. 19, vol. 2. — P. 771–784.
5. Трофимова И.Е., Бальбина А.С. Классификация и географические закономерности термического режима почв Иркутской области // География и природ. ресурсы. — 2016. — № 4. — С. 81–90.
6. Трофимова И.Е., Бальбина А.С. Мониторинг температуры почвы и толщины снежного покрова на территории Иркутской области // Лед и снег. — 2012. — № 1. — С. 62–68.
7. Справочник по климату СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — Вып. 22, ч. 2. — 360 с.; 1968. — Вып. 22, ч. 4. — 297 с.
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — Сер. 3, вып. 22, ч. 1–6. — 604 с.
9. Метеорологический ежемесячник. — Иркутск, 1964–1990. — Вып. 22, ч. 2, № 1–13.
10. Электронный ресурс. — <http://www.meteo.ru> (дата обращения 16.02.2020).
11. Многолетняя мерзлота и сезонное промерзание горных пород // Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. — М.; Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2004. — С. 37, карта № 47.
12. Агроклиматический справочник по Иркутской области. — Л.: Гидрометеиздат, 1962. — 159 с.
13. Почвенное районирование и почвенный покров // Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. — М.; Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2004. — С. 40–41, карты № 52, 53.
14. Фёдоров-Давыдов Д.Г., Давыдов С.П., Давыдова А.И., Остроумов В.Е., Холодов А.Л., Сорокиков В.А., Шмелев Д.Г. Температурный режим почв Северной Якутии // Криосфера Земли. — 2018. — Т. 22, № 4. — С. 15–24.
15. Пономарёва О.Е., Дроздов Д.С., Гравис А.Г., Бердников Н.М., Устинова Е.В., Бочкарёв Ю.Н., Лешневская Е.Ф., Успенский А.М. Темпы деградации мерзлоты у южной границы криолитозоны (по результатам мониторинга) // Новые идеи в науках о земле. — 2019. — С. 220–222.
16. Динамика атмосферного увлажнения // Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область). — М.; Иркутск: ГУГК. — 1967. — С. 44–45.
17. Василенко О.В., Воропай Н.Н. Особенности формирования климата котловин Юго-Западного Прибайкалья // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2015. — № 2. — С. 104–111.
18. Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г. Наводнения в Иркутской области 2019 года // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2019. — № 6. — С. 48–65.

Поступила в редакцию 18.02.2020

После доработки 16.03.2020

Принята к публикации 25.09.2020