

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 556.536

*Д.А. Вершинин, В.А. Уйманова, С.А. Овсянников*

### СТОК ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ р. АКТРУ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО РЕЖИМА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-05-01086).*

Рассматриваются результаты наблюдений за мутностью воды реки Актру (Алтай, Северо-Чуйский хребет), имеющей преимущественно ледниковое питание, в период летнего половодья 2012 г. Проведены анализ и сравнение с результатами наблюдений, выполненных в 1957, 1958, 1962 и 1974 гг. Выявлены причины прохождения исключительного паводка взвешенных наносов – смыв обломочного материала со склонов долины в виде селей и обвалов. Приведены результаты параллельных наблюдений за мутностью рек Малого и Большого Актру, а также гранулометрического состава взвешенных наносов в основном створе наблюдений.

**Ключевые слова:** горные реки; ледники; взвешенные наносы; мутность; гранулометрический анализ.

Горные реки с преимущественно ледниковым питанием несут в своих водах значительное количество взвешенных в воде частиц – наносов. Главным поставщиком обломочного материала являются ледники, которые в процессе своего движения истирают слагающие их ложе породы до самых мелких размеров – менее тысячных долей миллиметра. В то же время в составе взвешенных в воде горных рек наносов ввиду их значительной турбулентности в большом количестве присутствуют частицы и более крупных размеров – до крупного песка и мелкого гравия.

Несмотря на значительную мутность горных рек, не во всех регионах нашей страны и в ближнем зарубежье проводятся регулярные наблюдения за их мутностью. Так, например, на реках горного Алтая в России постоянные наблюдения за мутностью проводятся лишь на крупных реках (Катунь, Кокса). При этом створы наблюдений за мутностью расположены на значительном удалении от верховий рек, имеющих преимущественно ледниковое питание. На реках, берущих начало непосредственно с ледников, регулярные наблюдения не проводятся.

Эпизодические наблюдения за мутностью учеными ТГУ проводились на р. Актру. Впервые наблюдения за мутностью здесь проводились экспедицией ТГУ в 1957–1958 гг. по программе Международного геофизического года [1]. В 1962 г. наблюдения за мутностью продолжены в течение всего летне-осеннего периода (с июня по сентябрь) [2]. В 1974 г. проводились наблюдения за мутностью р. Актру также электрооптическим методом [3]. Последние наблюдения за мутностью р. Актру были произведены в 2011–2012 гг. Целью данного исследования является выявление закономерностей режима взвешенных наносов р. Актру во времени и определение источников поступления твердого материала в реку.

Горноледниковый бассейн Актру расположен в восточной части горного узла Биш-Иирду на северном склоне Северо-Чуйского хребта (рис. 1). Бассейн имеет древовидную форму и сужается вниз по течению. Река Актру берет начало при слиянии потоков, текущих с ледников Малого (Мал.) и Большого (Бол.) Актру [4].

Протяженность ее от истоков до выхода из гор в Курайскую межгорную котловину составляет около 15 км. В средней части долины река разбивается на множество рукавов и протоков, а сама галечниковая долина расширяется до 1 км.

Площадь бассейна р. Актру составляет 42,9 км<sup>2</sup> [4]; средняя высота его около 2 700 м; площадь оледенения за период с 1850 по 2008 г. сократилась с 18,1 до 14,9 км<sup>2</sup> [5]. Источники питания р. Актру – тающие снега и ледники, дожди играют незначительную роль в этом процессе. Небольшие дожди не только не увеличивают расход воды в реке, а даже наоборот снижают, так как в ненастье уменьшается таяние ледников. Однако дождевые паводки случаются после продолжительных ливней. На реке хорошо заметны изменения стока по времени суток. Но вместе с тем суточные максимумы и минимумы непостоянны. Минимум воды в реке наблюдается в 05:00–07:00, а максимальные расходы – в 15:00–20:00 [4].

В 2012 г. наблюдения за мутностью воды проводились в створе закрытой в настоящее время гидрометеостанции Актру (ГМС Актру) в течение 1 мес. стандартным прибором для отбора проб воды на мутность – батометром-бутылкой ГР-16М на штанге с моста в середине створа в точке 0,5 от глубины. Пробы отбирались ежедневно в следующие часы: 8:00, 12:00, 16:00, 20:00 и 00:00. Одновременно с отбором проб проводились измерения уровня воды по рейке. Кроме измерений уровня воды по рейке постоянно велась запись уровней воды самописцем «Валдай». С 14 по 23 июля 2012 г. ежедневно проводились измерения расходов воды вертушкой ИСП-1м при различных уровнях воды для построения кривой зависимости расходов воды от уровней. Также несколько раз параллельно с измерением расхода воды измерены расходы взвешенных наносов. Отобранные пробы фильтровались на месте и взвешивались на электронных аналитических весах в лаборатории. На рис. 2 приведен хронологический график изменений уровней воды и мутности за период наблюдений 2012 г.

По графику на рис. 2 видно, что величина мутности воды согласуется с высотой уровня воды как в течение

суток, так и при смене теплой и ясной погоды на дождливую и холодную. Суточный ход уровней воды зависит от высоты солнца – максимум наблюдается в 14:00–16:00, когда солнце проходит зенит и основная масса воды, поступившая от таяния ледников, достигает створа измерений. Минимум уровня воды, как правило, наступает около 08:00 – в ночное время таяние ледников снижается до минимума и вода постепенно

сходит из русловой и ледниковой речушечной сети. Наблюдается различие градиента роста и падения уровней воды: от минимума до максимума уровней проходит около 6–8 ч, при этом близкие к максимальным уровни могут держаться до 4 ч (с 14:00 до 18:00), после чего наблюдается достаточно резкий спад до 22:00, а затем градиент падения уровня воды заметно снижается.

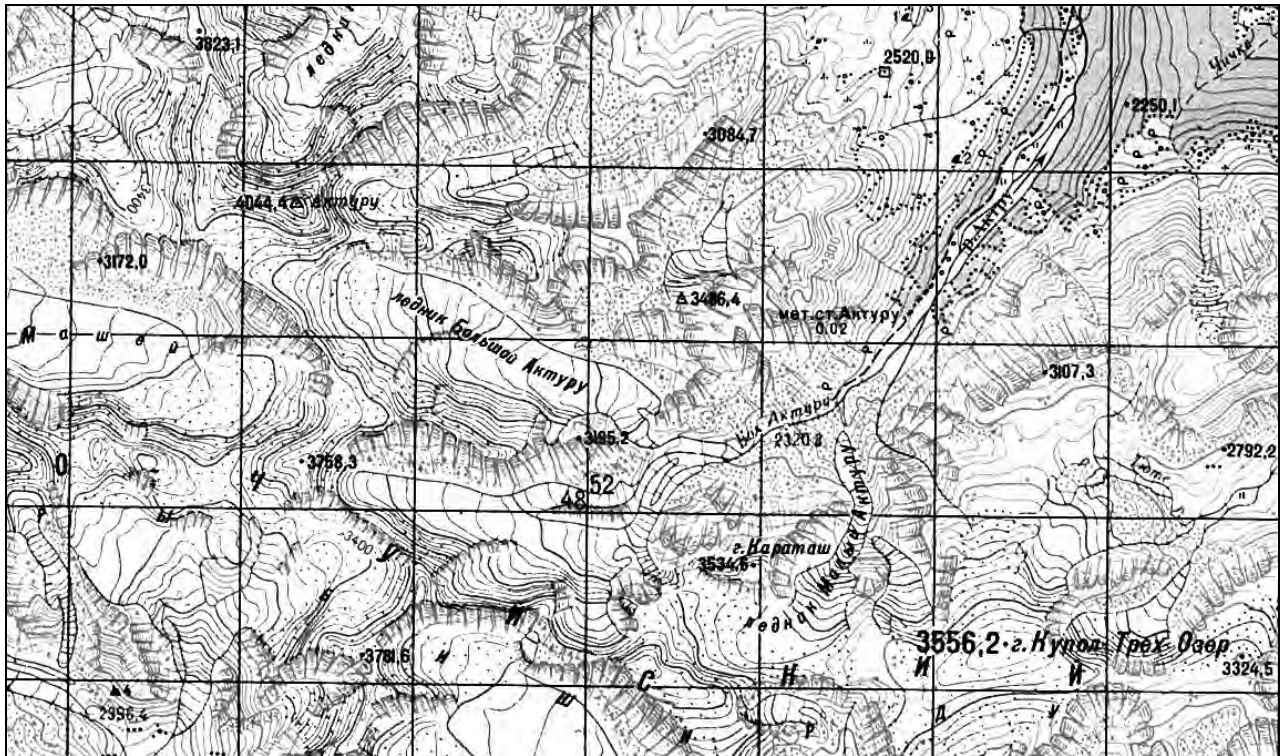


Рис. 1. Схема горной части бассейна р. Актуру

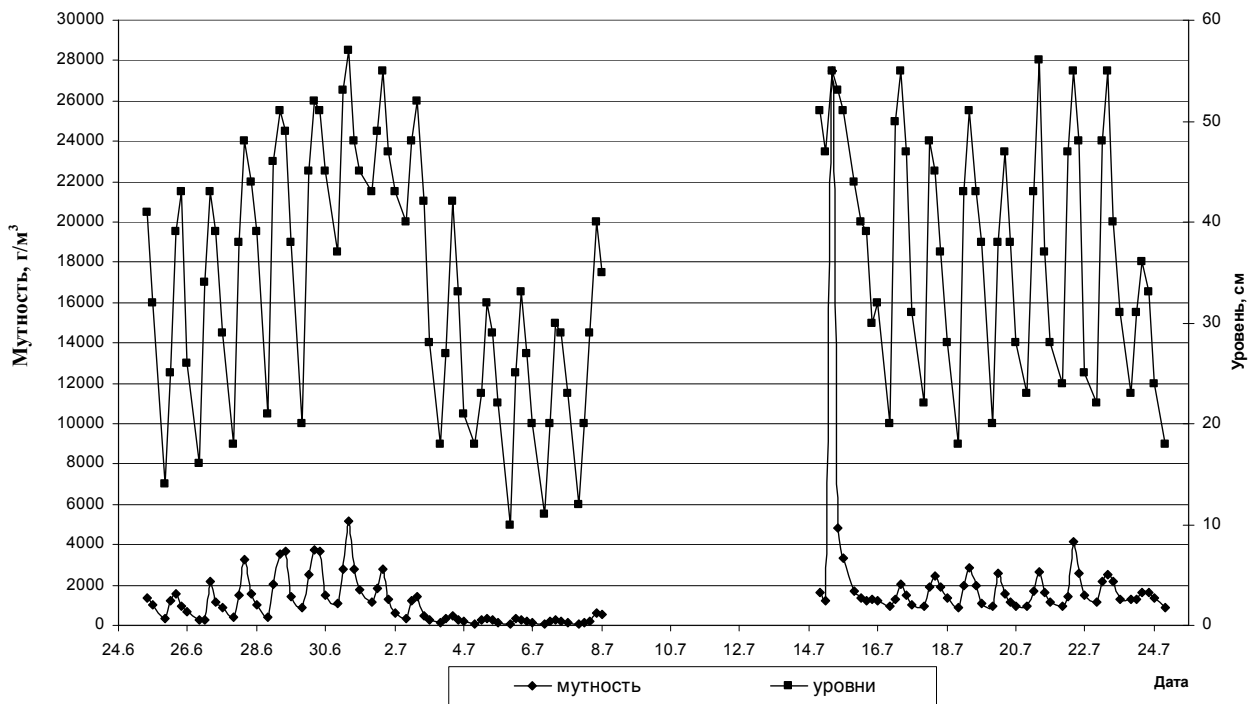


Рис. 2. График хода уровней воды и мутности р. Актуру, пост ГМС Актуру

Подобная асимметрия суточного хода наблюдается и для мутности воды как в солнечную, так и в пасмурную погоду. Также отмечается синхронность роста среднесуточных уровней воды и мутности во время их роста в солнечную погоду и падения при похолодании. Однако среднесуточная мутность воды в высокую водность на порядок выше, чем при низкой водности (2 000–2 500 г/м<sup>3</sup> и 160–220 г/м<sup>3</sup> соответственно).

Отдельно необходимо рассмотреть резкий скачок мутности 14 июля 2012 г. В этот день в 16:00 зафиксирована мутность 27 500 г/м<sup>3</sup>, превышающая максимальные измеренные в другие дни 2012 г. и предыдущие годы в 4–5 раз. Для сравнения: в 1962 г. максимальная измеренная мутность составила 6 820 г/м<sup>3</sup>, в 1958 г. – 1 560 г/м<sup>3</sup>, в 1957 г. – 1 490 г/м<sup>3</sup>. Следует отметить, что в 1957–1958 гг. отборы проб на мутность проводились только в утренние и вечерние сроки наблюдений, а в дневные часы, при прохождении пика расходов и мутности, пробы не отбирались и максимальные значения, вероятнее всего, занижены. И.М. Колушкина [2], В.В. Васильев, И.К. Ковалёв [3] отмечают, что 1962 г. был аномальным в смысле высокой мутности. Объясняется резкий скачок мутности 14 июля 2012 г. продолжительными обложными дождями (иногда ливневого характера) 13 и 14 июля. В этот же день со склонов долины сошло несколько обвалов и се-

лей, в результате чего на дневной поверхности оказалось большое количество мелкообломочного материала, который со склоновым поверхностным стоком поступил в русловую сеть. Цвет воды при прохождении паводочной волны был темно-коричневым, тогда как обычный цвет воды р. Актру во время летнего половодья светло-серый. Таким образом, большая часть взвешенных наносов 14 июля 2012 г. поступила в русло не в результате ледниковой деятельности и размыва потоком рыхлообломочного материала, а в результате смыва со склонов. Максимальная же мутность ледникового происхождения в 2012 г. составила 5 180 г/м<sup>3</sup>.

И.М. Колушкиной [2] проведено сравнение срочных утренних и вечерних наблюдений за мутностью в 1957, 1958 и 1962 гг., осредненных за период с 14 по 29 июля. В таблице приведены эти данные, а также добавлены осредненные значения утренних и вечерних наблюдений за период с 15 по 23 июля 2012 г..

На основании данных, приведенных в таблице, можно утверждать, что мутность воды во время срочных утренних и вечерних наблюдений в 2012 г. превышает мутность в эти же сроки в 1957–1958 гг., но значительно ниже, чем в 1962 г.

Подобный вывод о превышении мутности в целом за 1962 г. над мутностью 2012 г. можно сделать, построив кривую связи мутности и расходов воды (рис. 3).

Сопоставление значений мутности воды р. Актру ГМС Актру в утренние и вечерние сроки наблюдений

Срок наблюдений	1957 г.	1958 г.	1962 г.	2012 г.
	Мутность г/м <sup>3</sup>			
Утро	91	604	1 800	1 062
Вечер	335	945	2 910	1 770

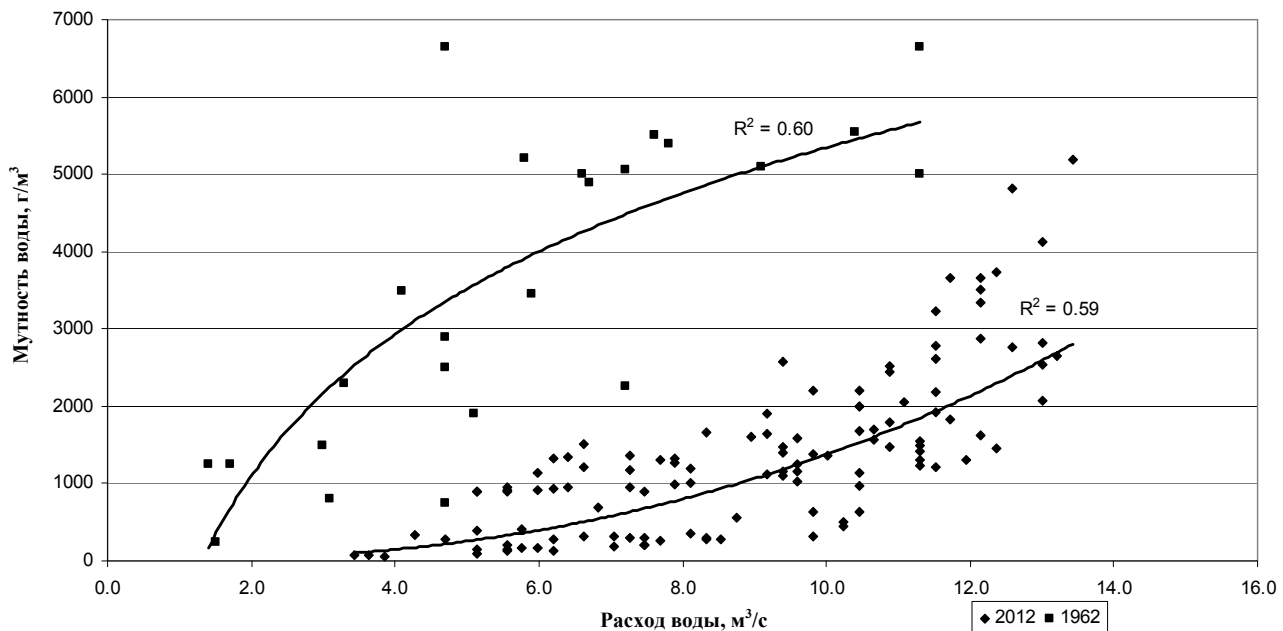


Рис. 3. Кривая связи мутности воды и расходов воды за 1962 и 2012 гг.

Тем не менее расходы взвешенных наносов за сравнимый период времени в 2012 г. превышают расходы взвешенных наносов 1962 г. ввиду наблюдавшихся больших расходов воды в 2012 г. в июне и июле, которые достигали 14–15 м<sup>3</sup>/с. Такой расход наблюдался в 1962 г. лишь однажды в августе. Среднемесячный рас-

ход взвешенных наносов июля 1962 г., по данным И.М. Колушкиной [2], составлял 8,99 кг/с, средний расход взвешенных наносов за период измерений в июле 2012 г. – 16,4 кг/с. Весомый вклад в среднемесячный расход взвешенных наносов в 2012 г. приходится на паводок 14 июля, когда его максимум достиг 357 кг/с.

Кроме регулярных наблюдений на створе ГМС Актру проведено несколько параллельных наблюдений за мутностью выше места слияния рр. Бол. Актру и Мал. Актру

в каждом из них. Измерения производились в различное время суток при разных уровнях воды. Гистограмма значений мутности обоих притоков представлена на рис. 4.

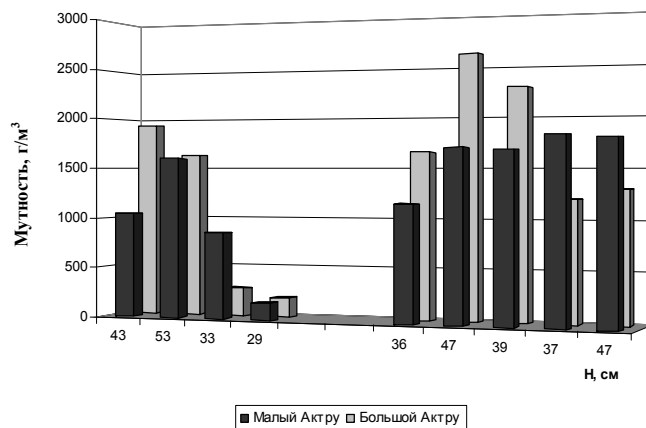


Рис. 4. Гистограмма значений мутности при параллельных измерениях в рр. Бол. Актру и Мал. Актру выше их слияния

Как видно из рис. 4, мутность р. Бол. Актру не всегда превышает мутность р. Мал. Актру. После продолжительной теплой погоды без осадков мутность Мал. Актру оказывается выше, чем Бол. Актру, что, скорее всего, связано с дополнительным поступлением наносов за счет размыва срединной морены, обнажившейся в результате отступления ледника р. Мал. Актру. В период большой

водности Мал. Актру размыв его берегов местами достигает десятых долей метров в минуту – русло значительно блуждает по долине, подмывая слабосвязанные грунты донной морены, состоящие из истертых ледником сланцев темного цвета. Именно темный цвет характерен для вод р. Мал. Актру в периоды высокой водности, в чем можно убедиться по фотографиям автора 2012 г. (рис. 5).

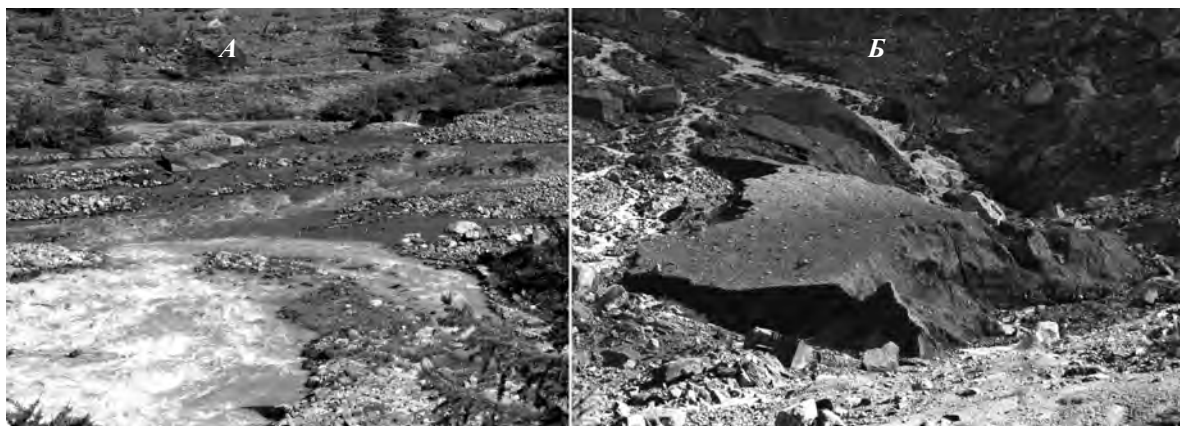


Рис. 5. А – слияние рр. Бол. Актру (нижний левый угол) и рр. Мал. Актру (правый верхний угол); Б – размываемая донная морена ниже ледника Малый Актру

В целом за период измерений 2012 г. максимальная зафиксированная мутность р. Мал. Актру составила  $1\,820\text{ г/м}^3$ , в 1962 г. максимальная мутность р. Мал. Актру 1 августа была  $4\,580\text{ г/м}^3$ .

Еще одной составляющей наблюдений 2012 г. были отборы проб для определения гранулометрического состава взвешенных наносов. Отборы этих проб производились в различные моменты водности, в том числе и в дождевой паводок 14 июля. Гранулометрический анализ проводился методом фракционирования прибором ГР-82. Разделение фракций мельче  $0,1\text{ мм}$  проводилось методом деления оставшегося во фракциометре столба воды на 3 части, высота которых соответствовала расстоянию падения частиц должной крупности. Гистограммы распределения крупности взвешенных наносов приведены на рис. 6.

Результаты гранулометрического анализа указывают на преимущественное процентное содержание во взвешенных наносах частиц крупностью от  $0,5$  до  $0,1\text{ мм}$  – от 30 до 60%. В некоторых пробах (от 25 июня и 2 июля) процентное содержание фракции  $1,0\text{--}0,5\text{ мм}$  сопоставимо с содержанием фракции  $0,5\text{--}0,1\text{ мм}$ . Следует отметить, что подобные исследования 2011 г. [6] показывают, что наибольшее содержание в пробах приходилось на фракцию  $0,1\text{--}0,05\text{ мм}$ . Подобное несоответствие может быть объяснено различием водности потока в период наблюдений, который составлял всего 4 дня. Уточнение этого объяснения возможно только после накопления репрезентативного количества материалов в разные годы и периоды водности.

Распределение гранулометрического состава взвешенных наносов 14 июля 2012 г. несколько отличается

от остальных проб – здесь большая часть приходится на фракцию 0,1–0,05 мм и составляет 46%. Немного меньше – 41% – приходится на фракцию 0,5–0,1 мм, на остальные фракции остается 13%. Такое отличие рас-

пределения крупности взвешенных наносов от остальных проб 2012 г. также может указывать на не ледниковое, в большинстве своем, происхождение этих наносов.

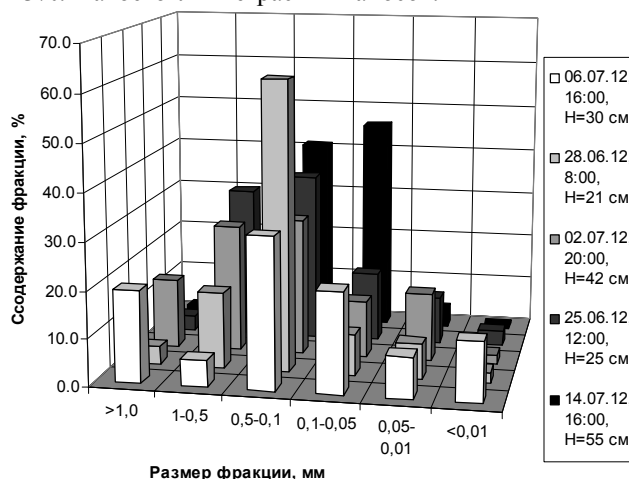


Рис. 6. Распределение гранулометрического состава взвешенных наносов р. Актру, пост ГМС Актру

Учитывая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Максимальная мутность р. Актру, обусловленная эрозией деятельностью ледников, по материалам измерений 2012 г. оказалась ниже на 15% максимальной мутности воды, зафиксированной в 1962 г.

2. Во время прохождения по реке дождевого паводка, совпавшего со сходом со склонов долины нескольких лавин и селей, зафиксировано экстремальное значение мутности за все время наблюдений – 27 500 г/м<sup>3</sup>, что в 4 раза превышает значение максимальной мутности воды в 1962 г.

3. Мутность р. Мал. Актру за счет миграции ее русла и подмыва мелкодисперсных пород вскрывшейся в результате отступления ледника срединной морены в некоторые дни превышает мутность р. Бол. Актру.

4. В составе взвешенных наносов р. Актру преобладают частицы от 0,1 до 0,5 мм.

Более или менее обоснованный вывод об изменении стока взвешенных наносов в многолетнем разрезе можно сделать только после восстановления регулярных гидрологических и метеорологических наблюдений на географической станции Актру.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Титова З.А. Наблюдения за мутностью реки Актру в горах Биш-Иирду // Гляциология Алтая. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1962. Вып. 2. С. 114–126.
2. Колошикина И.М. Необычайная мутность воды р. Актру в 1962 году // Гляциология Алтая. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1965. Вып. 4. С. 232–237.
3. Васильев В.В., Ковалёв И.К. Предварительные результаты исследования стока взвешенных наносов и ионного стока реки Актру электрооптическими методами // Гляциология Алтая. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1978. Вып. 13. С. 139–144.
4. Галахов В.П., Нарожный Ю.К., Никитин С.А., Окишев П.А., Севастьянов В.В., Севастьянова Л.М., Шантыкова Л.Н., Шуруп В.И. Ледники Актру (Алтай): Водно-ледниковый и тепловой баланс горноледниковых бассейнов. Л. : Гидрометеоздат, 1987. 118 с.
5. Narozhniy Yu., Zemtsov V. Current State of the Altai Glaciers (Russia) and Trends Over the Period of Instrumental Observations 1952–2008 // AMBIO. 2011. Vol. 40, is. 6. P. 575–588. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-011-0166-0>
6. Дубцов А.Л., Вершинин Д.А. Сток наносов с преимущественно ледниковым питанием на примере р. Актру // Труды ТГУ. Сер. Геолого-географическая: Современные проблемы географии и геологии. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2011. Т. 280. С. 123–125.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 20 января 2014 г.

## SUSPENDED LOAD IN THE AKTRU RIVER AND PECULIARITIES OF ITS REGIME OVER THE LAST 50 YEARS

*Tomsk State University Journal*. No. 381 (2014), 226-231

Vershinin Dmitrii A., Uimanova Valeria A., Ovsyannikov Stepan A. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: daversh@ggf.tsu.ru; skvaleri91@mail.ru; azzikss@gmail.com

**Keywords:** mountain rivers; glaciers; suspended sediment; turbidity; sediment gradation analysis.

Mountain rivers with glacier-derived nourishment bring an appreciable quantity of water-borne dust – stream load. The principal supplier of fragmentary materials is glaciers. The glacier attrites the foot of massive materials to the smallest rates – less than a thousandth of a millimeter. At the same time the stream load has larger items – river gravel and granule round stone. However, despite a significant mountain rivers' turbidity regular water observation of this phenomenon is not realized in every region of our country. Water observation was realized at the hydrometeorostation Aktru for a month by a standard instrument – the bathometer. Water measurement was made at the same time. The records of water measurement were fixed by the logger Valdai. The water rate was obtained daily by a hydrometric current meter for the period of 14 to 23 of July. Diurnal variations of water depend on the solar altitude – the max is at 2.00-4.00 p.m.

when the sun is at zenith. At this time the bulk of water reaches the section line of the measurements. The min of the water level is at 8 a.m. At night the ablation reduces to a minimum. The water level decreases. The abrupt jump of turbidity on July 14, 2012 is considered separately. On this day at 4 p.m. the turbidity of 27500 g/m<sup>3</sup> was registered. For reference, in 1962 the max level of turbidity was 6820 g/m<sup>3</sup>, in 1958 – 1560 g/m<sup>3</sup>, in 1957 – 1487 g/m<sup>3</sup>. Yet, I.M. Kolushkina, V.V. Vasilyev, I.K. Kovalev marked that the 1962 turbidity was anomalously high. It happened because of the extended rain period on July 13-14. At the same time earth falls and mudflows moved down from the flanks of the mountain the dome of the three lakes. The max turbidity of glacial origin was 5181 g/m<sup>3</sup>. The flood of the airborne hirst of 2012 with 16.4 kg/s is greater than that of 1962 with 8.99 kg/s. The max of water turbidity was on July 14, 2012 with 357 kg/s. The measurements were made in the upper zone of the Aktru River at different times of the day. Altogether, the max turbidity of the Small Aktru in 2012 was 1824 g/m<sup>3</sup> in 1962 it was 4582 g/m<sup>3</sup> on August 1. Another part of observations in 2012 was sediment gradation analysis. The selection of samples was realized at the different levels of spring flood including but not limited to July 14. The results of the grain-size analysis indicate that sediments are mainly (30% to 60%) composed of particles with the size of 0.5 to 0.1 mm. The composition of the sediments of July 14 is different. The particles are 0.1–0.05 mm.

## REFERENCES

1. Titova Z.A. *Nablyudeniya za mutnost'yu reki Aktru v gorakh Bish-Iirdu* [Observations of the turbidity of the Aktru in the mountains Bish Iirdu]. In: *Glyatsiologiya Altaya* [Glaciology of the Altai Mountains]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1962, Issue 2, pp. 114-126.
2. Kolyushkina I.M. *Neobychnaya mutnost' vody r.Aktru v 1962 godu* [Extraordinary turbidity of the Aktru in 1962]. In: *Glyatsiologiya Altaya* [Glaciology of the Altai Mountains]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1965, Issue 4, pp. 114-126.
3. Vasilyev V.V., Kovalev I.K. *Predvaritel'nye rezul'taty issledovaniya stoka vzveshennykh nanosov i ionnogo stoka reki Aktru elektroopticheskimi metodami* [Preliminary results of the study of suspended sediments and ionic runoff of the Aktru River by electro-optical methods]. In: *Glyatsiologiya Altaya* [Glaciology of the Altai Mountains]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1978, Issue 13, pp. 139-144.
4. Galakhov V.P., Narozhniy Yu.K., Nikitin S.A., Okishev P.A., Sevastyanov V.V., Sevastyanova L.M., Shantykova L.N., Shurov V.I. *Ledniki Aktru (Altay): Vodno – lednikovyy i teplovoy balans gornolednikovyykh basseynov* [The Aktru glaciers (Altai). Fluvio-glacial and heat balance of mountain glacier basins]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987. 118 p.
5. Narozhniy Yu., Zemtsov V. Current State of the Altai Glaciers (Russia) and Trends Over the Period of Instrumental Observations 1952–2008. *AMBIO*, 2011, vol. 40, Issue 6, pp. 575-588. doi: 10.1007/s13280-011-0166-0
6. Dubtsov A.L., Vershinin D.A. [The glacier-fed sediment runoff as exemplified by the Aktru River]. *Trudy TGU – T 280. Seriya geologo-geograficheskaya: Sovremennyye problemy geografii i geologii* [Proc. of Tomsk State University. Vol. 280. Geology and Geography. Modern issues of geography and geology]. Tomsk, Tomsk University Publ., 2011, pp. 123-125. (In Russian)