

ИОННЫЙ СТОК И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ЛЕДНИКОВОЙ РЕКИ АКТРУ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

По данным полевых работ 2013 г. и ранее проведенных исследований (1997–1999, 2012 гг.) в горно-ледниковом бассейне р. Актру (Горный Алтай) выполнен анализ пространственно-временной динамики химического состава речных вод и ионного стока. Выявлена закономерность в динамике расхода растворенных веществ, заключающаяся в резком увеличении расходов и минерализации на участке интенсивного поступления в русловую сеть талых ледниковых вод (0–5 км от истока реки) и постепенной стабилизации характеристик ниже по течению вплоть до устья.

Ключевые слова: Горный Алтай; горно-ледниковый бассейн Актру; химический состав речных вод; ионный сток; закономерности пространственной изменчивости.

Введение. Ионный сток (сток растворенных веществ) является одной из составляющих геостока (потока вещества и энергии) горных областей, а также интегральной характеристикой гидрологических, геохимических и геоэкологических процессов в речных бассейнах. Особую актуальность исследования ионного стока приобретают при изучении тех геосистем, которые находятся в неустойчивых состояниях, например горно-ледниковых бассейнов в условиях климатических изменений.

Один из таких бассейнов – бассейн р. Актру (см. рис. 1), расположенный на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта в горном узле Биш-Иирду (Горный Алтай). В течение последних десятилетий в высокогорной зоне Горного Алтая наблюдался постепенный рост среднегодовых и летних температур приземных слоёв воздуха, соответственно, с интенсивностью 0,35 и 0,12°C / 10 лет [1]. Как следствие, абляция на ледниках бассейна Актру увеличивалась. Одновременно наблюдался рост суммы осадков в бассейне, что вызвало рост аккумуляции на ледниках [2]. Но градиент роста аккумуляции был вдвое меньше градиента роста абляции, что привело к устойчивым отрицательным балансам массы ледников и, соответственно, деградации оледенения в бассейне Актру [3]. Подобные изменения не могли не отразиться как на водном, так и на ионном стоке р. Актру.

Степень изученности стока растворенных веществ р. Актру и на данный момент времени является низким, что и определило цель работы, являющейся продолжением исследований Томского государственного (ТГУ) и Томского политехнического (ТПУ) университетов [4–6].

Материалы и методика исследования. Исследования включали в себя: 1) полевые работы в июле 2013 г., в том числе: а) измерение расходов воды и уклонов водной поверхности согласно [7]; б) отбор проб вод р. Актру из слоя 0,3–0,5 м от поверхности с учётом [7]; 2) лабораторные работы; 3) обобщение материалов, полученных в 2013 г., и результатов исследований, выполненных совместно с Ю.К. Нарожным, Р.Ф. Фахрутдиновым, Ю.Г. Копыловой, Н.В. Гусевой, А.А. Хвацевской в 1997–1999 и 2012 гг. и частично представленных в [4–6]; 4) географо-гидрологический анализ данных с учётом требований [8].

Основные задачи анализа заключались: 1) в выявлении закономерностей и особенностей изменения химического состава речных вод, а также гидрохимического стока р. Актру от истоков до устья; 2) установлении взаимосвязей водного и гидрохимического стока как ключевого фактора пространственно-временных изменений химического состава речных вод.

Перечень определяемых гидрохимических показателей включал в себя pH, главные ионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), биогенные вещества (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Si), железо общее и ряд микроэлементов (F, Li, Al, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Hg, Pb), перманганатную (ПО) и бихроматную (БО) окисляемости. Лабораторные работы выполнены в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории ТПУ по аттестованным методикам, краткое описание которых приведено в [8]. Схема размещения пунктов отбора проб и гидрометрических створов представлена на рис. 1.

Обсуждение результатов. Анализ полученных данных позволил уточнить гидрохимическую характеристику р. Актру (см. таблицу) и подтвердил сделанные ранее выводы о соответствии речных вод категориям: 1) пресных с очень малой и средней (реже) минерализацией (по классификации О.А. Алёкиной); 2) гидрокарбонатных кальциевых; 3) слабощелочных (чаще) и нейтральных [9].

В распределении гидрохимических показателей прослеживается общая тенденция к достаточно резкому увеличению концентраций растворённых солей на верхнем участке протяжённостью около 5 км (см. рис. 2), что в первом приближении соответствует участку смешивания порций талых ледниковых вод (с ледников Правый, Левый, Малый Актру и пр.), с дальнейшим выходом речных вод на относительно ровную поверхность (зандровое поле) с преобладающим типом руслового процесса – горной пойменной многоруканностью и уменьшением расхода взвешенных наносов (см. таблицу).

Незначительное увеличение минерализации воды прослеживается и ниже по течению от зандрового поля до выхода реки из горно-таежного участка в горно-степной. В нижнем течении, видимо в результате впадения р. Корумду, сток которой формируется в несколько иных условиях, может наблюдаться некоторое снижение суммы главных ионов \sum_{mi} .

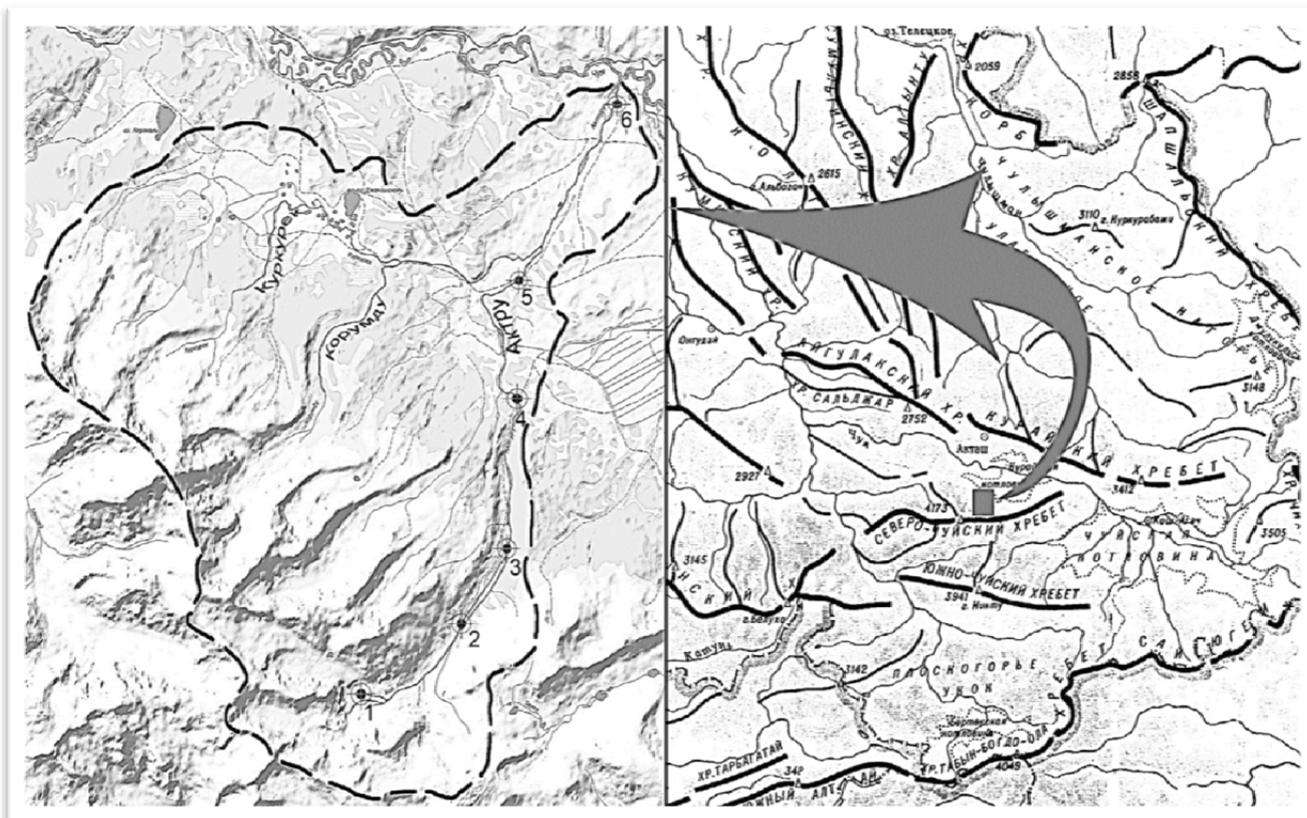


Рис. 1. Горно-ледниковый бассейн Актру. Показаны точки отбора проб речной воды на гидрохимический анализ: 1 – исток; 2 – гидрологический створ; 3 – нижняя оконечность зандрового поля; 4 – «Перевалка»; 5 – 1,1 км выше впадения р. Корумду; 6 – устье

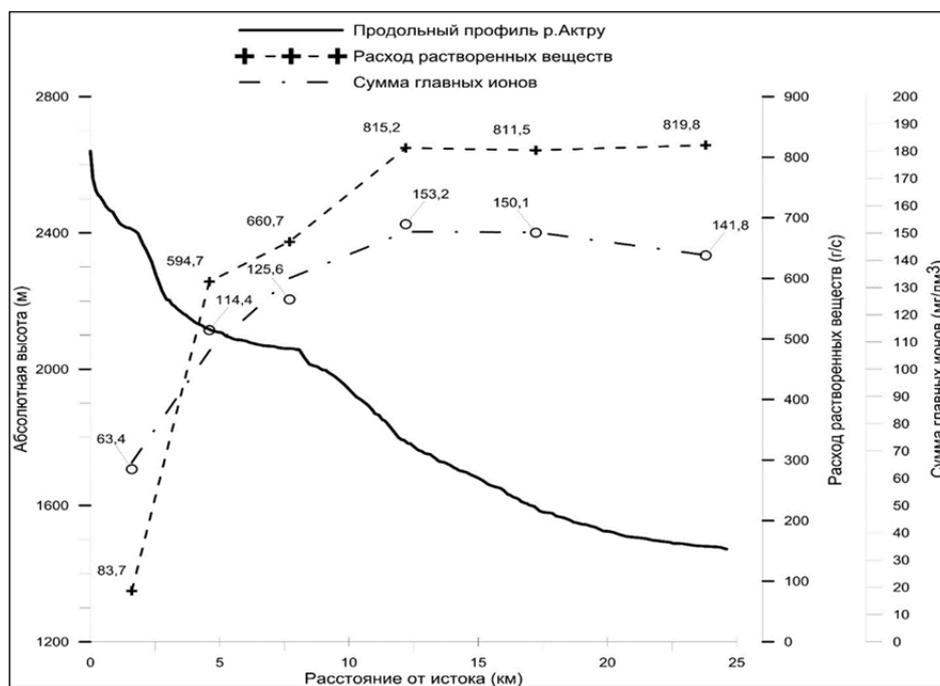


Рис. 2. Изменение основных гидрохимических показателей по длине р. Актру

Для водосбора р. Корумду, левого притока р. Актру (рис.1), по сравнению с водосбором самой р. Актру выше по течению от места слияния, характерна более значительная степень залесенности речного бассейна. А в пределах залесенных участков взаимодействие вод с горными породами протекает менее интенсивно. Об-

щее изменение суммы главных ионов $\sum m_i$ по длине реки в летний период может быть описано уравнением

$$\sum m_i = 30,3 - 0,54L^2 + 16,6L, \quad (1)$$

где L – расстояние от истока в км.

Сходное (с минерализацией) изменение по длине реки наблюдается и для ионного стока, вычисленного как

произведение расхода воды и суммы главных ионов. Но есть и небольшие отличия, заключающиеся в отсутствии

снижений значений ниже устья р. Корумду за счёт компенсации уменьшения \sum_{mi} увеличением расходов воды.

Общая характеристика водного стока и химического состава вод р. Актру в июле 2013 г. и в среднем за 1997–2013 гг.

Показатель	Единицы измерения	Река Актру								Среднее для ледников [9]
		Исток	Гидрологический пост	Нижняя оконечность заандра	«Перевалка»	1,1 км выше впадения р. Корумду	Устье	Среднее за 2013 г.	Среднее за 1997–2013 гг.	
Створ	км от устья	24,5	20	16,9	12,4	7,4	0,8	–	–	–
Дата отбора	–	19.07.13	18.07.13	18.07.13	18.07.13	18.07.13	20.07.13	6 проб	16 проб	8 проб
Расход воды Q	м³/с	1,3	5,2	5,3	5,3	5,4	5,8	4,7	4,2	–
Расход взвеш. наносов G	кг/с	18,1	16,5	4,52	10,9	8,92	3,68	–	–	–
Ионный сток	г/с	83,7	594,7	660,7	815,2	811,5	819,8	630,9	464,0	–
Сток C _{орг}	г/с	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	1,0	–
pH	–	8,23	8,90	9,00	8,40	8,40	8,90	8,64	8,12	5,43
\sum_{mi}	мг/дм³	63,4	114,4	125,6	153,2	150,1	141,8	124,7	109,5	21,3
Ca ²⁺	То же	11,7	14,3	13,5	18,5	20,5	17,9	16,1	18,1	2,3
Mg ²⁺	–/–	1,2	2,8	2,8	4,1	4,4	3,3	3,1	3,0	0,5
Na ⁺	–/–	2,8	10,0	14,3	14,8	12,7	11,0	10,9	4,7	0,6
K ⁺	–/–	1,1	1,1	1,4	1,2	1,3	1,1	1,2	1,2	0,3
HCO ₃ ⁻	–/–	39,0	54,9	58,6	79,3	75,6	61,0	61,4	58,9	14,0
CO ₃ ²⁻	–/–	1,2	12,0	14,4	3,6	3,6	24,0	9,8	6,5	0,0
Cl ⁻	–/–	0,3	1,1	1,8	1,6	1,6	1,4	1,3	1,7	2,6
SO ₄ ²⁻	–/–	6,0	18,2	18,9	30,1	30,4	22,1	20,9	17,9	1,0
NO ₃ ⁻	–/–	0,720	0,580	0,510	0,590	0,240	0,390	0,505	0,598	1,24
NO ₂ ⁻	–/–	0,030	0,001	0,020	0,001	0,001	0,001	0,009	0,007	0,010
NH ₄ ⁺	–/–	0,025	0,025	0,100	0,120	0,090	0,090	0,075	0,068	0,092
PO ₄ ³⁻	–/–	0,145	0,070	0,143	0,030	0,040	0,040	0,078	0,100	0,044
Si	–/–	1,780	1,180	1,570	1,060	0,770	1,480	1,307	3,340	0,46
Fe _{общ}	–/–	12,050	6,220	5,640	1,220	1,280	1,310	4,620	3,177	0,329
F ⁻	–/–	0,160	0,476	0,790	0,610	0,630	0,620	0,548	0,247	0,039
Li	мкг/дм³	9,3	4,1	2,9	2,6	2,3	2,0	3,9	3,4	3,5
Al	То же	5298,0	2501,0	1178,0	553,0	153,0	102,0	1630,8	1141,1	135,0
Ti	–/–	263,0	107,0	40,0	17,0	3,0	0,0	71,7	71,7	–
V	–/–	19,0	5,0	2,0	1,0	0,1	0,1	4,5	4,5	–
Cr	–/–	13,0	4,3	1,0	1,0	1,0	1,0	3,6	3,5	–
Mn	–/–	185,0	75,0	32,0	21,0	13,0	11,0	56,2	56,2	–
Ni	–/–	8,0	2,0	1,0	<1	<1	<1	1,8	1,8	–
Cu	–/–	14,0	4,6	6,5	2,1	2,2	2,7	5,4	4,2	1,7
Zn	–/–	37,0	16,0	18,0	15,0	5,6	12,0	17,3	15,7	44,7
Sr	–/–	68,0	95,0	102,0	130,0	132,0	111,0	106,3	127,8	–
Ba	–/–	43,0	38,0	33,0	39,0	33,0	40,0	37,7	33,1	–
Hg	–/–	<0,01	<0,01	0,36	0,28	<0,01	0,45	0,20	0,26	0,25
Pb	–/–	11,2	2,8	2,8	0,9	0,7	1,4	3,3	2,7	0,9
ПО	мгО/дм³	1,27	0,90	0,66	0,33	0,29	0,45	0,65	1,30	–
БО	То же	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,63	–

Примечания. Расход взвешенных наносов определялся по формуле М.А. Великанова $G = \frac{k_G \cdot \bar{v}^3}{\bar{h} \cdot g \cdot u}$, где \bar{v} , \bar{h} – средние значения скорости течения и глубины потока (м/с, м); u – гидравлическая крупность взвешенных наносов (м/с); g – ускорение свободного падения (м/с²); k_G – эмпирический коэффициент, принятый по данным о реках Горного Алтая [11] в размере 70,25; средний диаметр D_s взвешенных наносов вычислен по региональной зависимости от уклона реки J [10]: $D_s = 0,011 \cdot J^{-0,217}$; содержание углерода органического $C_{орг}$ вычислено как $C_{орг} = 0,375 \times BO$ согласно [9]; \sum_{mi} – сумма главных ионов.

Необходимо отметить, что использование зависимости (1) при $L = 0$ позволяет, во-первых, получить содержание главных ионов, близкое к среднему значению для талых ледниковых вод (таблица). Во-вторых, очевидно, что остальная часть растворённых веществ (более 90% от суммарного стока в замыкающем створе, расположенном в 0,8 км выше по течению от места впадения р. Актру в р. Чуя) поступает с водосборной территории, не занятой ледниками.

Весьма интересный вывод можно сделать о возможных изменениях минерализации речных вод и ионного стока при условии продолжения потепления климата и отступления ледников. Обычно между суммой растворённых веществ и стоком равнинных рек существует обрат-

ная связь, обусловленная: 1) увеличением при уменьшении водного стока в меженный период вклада притока в русловую сеть более минерализованных подземных вод; 2) увеличением времени взаимодействия вод и горных пород при незначительной интенсивности водообмена.

В случае горно-ледникового бассейна Актру ситуация иная. По крайней мере, в июле – августе, когда происходит наиболее интенсивное таяние ледового материала, содержание растворённых солей в речных водах увеличивается по мере возрастания расходов воды (рис. 3), что объясняется увеличением площади соприкосновения маломинерализованной воды и горных пород и поступлением в водную среду ряда веществ в растворённой, коллоидной и взвешенной фор-

мах. При уменьшении транспортирующей способности потока происходит осаждение части взвешенных частиц (см. таблицу) и, возможно, соосаждение коллоидных комплексов и сорбция на поверхности оседающих на дно наносов растворённых соединений. Всё вместе

это и определяет как характер отмеченного выше распределения гидрохимических показателей по длине реки, так и вероятное увеличение гидрохимического выноса из горно-ледниковых районов при сохранении наблюдаемых тенденций климатических изменений.

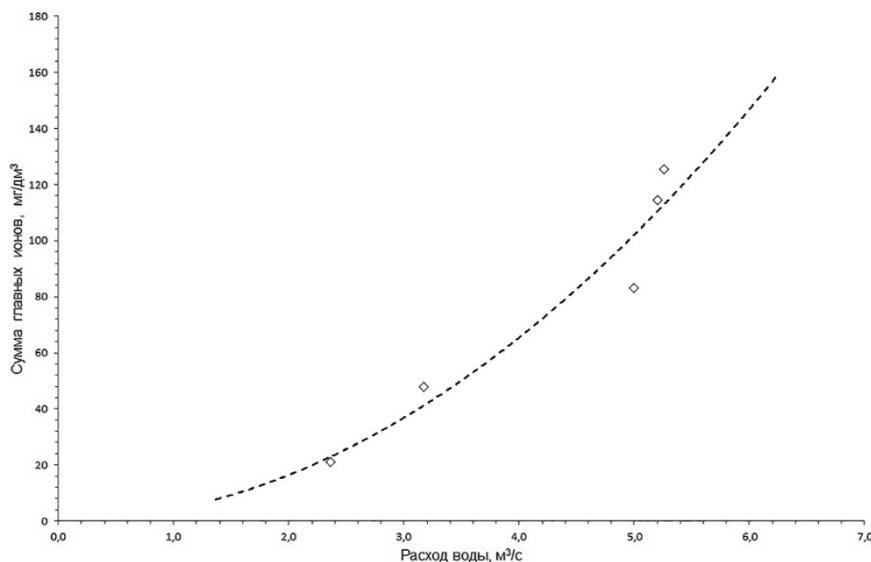


Рис. 3. Зависимость суммы главных ионов от расхода воды в р. Актру

Заключение. Общая тенденция изменения гидрохимического выноса заключается в его резком увеличении на участке поступления и смешения порций талых ледниковых вод (протяжённостью около 5 км) и постепенной стабилизации ниже по течению реки на общем фоне увеличения расходов воды и некотором снижении в речных водах содержания растворённых солей. Увеличение гидрохимического выноса в горно-ледниковом бассейне Актру в летние месяцы определяется, прежде всего, увеличением площади взаимодействия ультрапресных вод и горных пород. В зимнюю межень (в условиях минимального водного стока), возможно, большее значение приобретает время взаимодействия. В целом не менее 90% растворённых со-

лей, включая многие соли металлов, поступает в речные воды из горных пород, что необходимо учитывать при попытке использовать водные объекты горно-ледниковых бассейнов в качестве индикаторов антропогенного влияния на окружающую среду.

При усилении деградации ледников происходит: во-первых, увеличение водного стока; во-вторых, расширение площади участков водосбора с отложениями, неустойчивыми к воздействию воды. В комплексе это приводит к увеличению гидрохимического выноса и аккумуляции продуктов денудации на границе геоморфологических районов, что при определённых условиях может привести к формированию в долине реки геохимических аномалий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паромов В.В., Шантыкова Л.И. Динамика гидрометеорологических характеристик высокогорья Алтая во второй половине XX века // Материалы гляциологических исследований. 2001. Вып. 90. С. 112–116.
2. Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху / под ред. В.М. Котлякова. М.: Наука, 2006. 482 с.
3. Нарожный Ю.К., Паромов В.В., Шантыкова Л.И. Возможные тенденции изменения режима ледников и климата высокогорья Алтая до 2010 г. // Материалы гляциологических исследований. 2005. Вып. 98. С. 220–224.
4. Савичев О.Г., Нарожный Ю.К., Паромов В.В., Фахрутдинов Р.Ф. Химический и микробиологический состав водно-ледниковых объектов в бассейне р. Актру (Горный Алтай) // Материалы гляциологических исследований. 2002. Вып. 92. С. 187–191.
5. Савичев О.Г., Паромов В.В. Химический состав талых ледниковых и речных вод бассейна реки Актру (Горный Алтай) // География и природные ресурсы. 2013. № 4. С. 94–100.
6. Савичев О.Г., Паромов В.В., Копылова Ю.Г., Хващевская А.А., Гусева Н.В. Эколого-геохимическое состояние поверхностных вод в бассейне р. Катунь (Горный Алтай) // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 366. С. 157–161.
7. Настройка гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеиздат, 1978. Вып. 6. Ч. 1. 384 с.
8. ГОСТ Р 51592-2000: Вода. Общие требования к отбору проб. Дата введения 21.04.2000.
9. Методические указания. Проведение расчётов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. РД 52.4.622-2001. М.: Росгидромет, 2001. 68 с.
10. Савичев О.Г., Решетько М.В. Методы ориентировочной количественной оценки твёрдого стока и русловых деформаций для равнинных рек таёжной зоны Западной Сибири // Инженерные изыскания. 2012. № 1. С. 52–56.
11. Колошклина И.М. Необычная мутность воды р. Актру в 1962 году // Гляциология Алтая. 1965. Вып. IV. С. 232–237.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 21 мая 2014 г.

IONIC RUNOFF AND CHEMICAL COMPOSITION OF GLACIAL WATERS OF THE AKTRU RIVER (GORNÝ ALTAI)

Tomsk State University Journal. No. 383 (2014), 226-231. DOI: 10.17223/15617793/383/35

Paromov Vladimir V. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: pvv0266@mail.ru

Savichev Oleg G. Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: OSavichev@mail.ru

Shantikova Liliya N. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: pvv0266@mail.ru

Torgasheva Kseniya A. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: avelissa@mail.ru

Keywords: Gorný Altai; mountain-glacial basin Aktru; chemical composition of river water; ionic runoff; regularities of spatial variability.

The analysis of existential changes of the chemical composition of river waters and hydrochemical runoff is executed on the basis of materials of researches executed in 2013 (and earlier) in the mountain-glacial basin of the Aktru River located on the northern macroslope of the North-Chuya ridge in Bish-Irdu (Gorný Altai). The Aktru River is an element of the river network "the Aktru River – the Chuya River – the Katun River – the Ob River". The area of glaciers is 16.7 square kilometers, the largest of them are the Right, Left and Small Aktru glaciers. The GIS-based and statistical analysis of spatial changes of hydrological and hydrochemical conditions is carried out within the limits of the catchment basin. It is shown that river waters correspond to categories: 1) by the total of dissolved substances – fresh with very small and average mineralization (by O.A. Alyokin's classification); 2) by chemical composition – hydrocarbonate calcium waters of the first and second types of mineralization (also by O.A. Alyokin's classification); 3) by pH size – alkaline and neutral. The picture of change of water discharges is established, as well as pH and the chemical composition of river waters (main ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , nitrates, nitrites, ions of ammonium, phosphates, silicon, fluoride-ion, iron, organic substances by bichromate (COD) and permanganate oxidability, microelements Li, Al, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Hg, Pb) from sources up to the mouth in cross-sections in 24.5, 20.0, 16.9, 12.4, 7.4, 0.8 km from the mouth of the Aktru River. The regularity in changes of the discharge of the dissolved substances is revealed. It consists in a sharp increase in discharges and mineralization on the site with intensive thawed glacial waters receipt in the channel network (0-5 km from the source of the river) and gradual stabilization of characteristics downstream up to the mouth. The equation of regress as a polynomial of the second order is received, connecting change of the sum of the main ions and extent of the water-current and allowing to receive the total content of the main ions close to the corresponding parameter for glacial waters (on the average for the long-term period) at zero argument (distance from the source). Primary factors of seasonal dynamics of the runoff of the dissolved substances are: in summer months – increase in the area of interaction of ultrafresh waters with the rocks resulting in essential growth of the hydrochemical runoff from the basin; during the long low flow – time of interaction in epy system "water – rock – organic substance". It is shown that the basic part of the dissolved salts (not less than 90 %) enters river waters from rocks from the water-modular territory unoccupied with glaciers. With stronger degradation of glaciers of the Aktru basin it is necessary to expect an increase in the hydrochemical runoff owing to, first, the increase in the water runoff, and, second, expansion of the area of sites of the river basin with sediments unstable to the influence of water. In a complex, it results in an increase in the hydrochemical runoff and accumulation of products of denudation on the border of geomorphological areas, which under certain conditions can lead to geochemical anomalies in the valley of the river.

REFERENCES

1. Paromov V.V., Shantykova L.I. [Dynamics of hydrometeorological characteristics of Altai highlands in the second half of the 20th century]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy* [Proc. of glaciological studies], 2001. Issue 90, pp.112-116. (In Russian).
2. Kotlyakov V.M. (ed.) *Oledenenie Severnoy i Tsentral'noy Evrazii v sovremennuyu epokhu* [Glaciation of North and Central Eurasia in the modern era]. Moscow: Nauka Publ., 2006. 482 p.
3. Narozhnyy Yu.K., Paromov V.V., Shantykova L.I. [Possible trends regime glaciers and alpine climate Altai to 2010]. *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy* [Proc. of glaciological studies], 2005. Issue 98, pp.220-224. (In Russian).
4. Savichev O.G., Narozhnyy Yu.K., Paromov V.V., Fakhrutdinov R.F. Chemical and microbiological composition of water-ice in the pool facilities r.Aktru (Gorný Altai). *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy* [Proc. of glaciological studies], 2002. Issue 92, pp.187–191. (In Russian).
5. Savichev O.G., Paromov V.V. Khimicheskiy sostav talykh lednikovyykh i rechnyykh vod basseyna reki Aktru (Gornyy Altai) [The chemical composition of glacial melt water and river-water of the Aktru basin (Gorný Altai)]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2013, no. 4, pp. 94-100.
6. Savichev O.G., Paromov V.V., Kopylova Yu.G., Khvashchevskaya A.A., Guseva N.V. Ecogeochemical condition of surface waters in Katun River basin (Gorný Altai). *Vestnik tomского gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 2013, no. 366, pp. 157-161. (In Russian).
7. Potapova O.N. (ed.) *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam* [Manual for hydrometeorological stations and posts]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1978. Issue 6. Pt.1, 384 p.
8. GOST R 51592-2000: Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob. Data vvedeniya 21.04.2000 [GOST R 51592-2000 Water. General requirements for sampling. 21st April 2000].
9. Guidelines. Calculations of the background concentrations of chemicals in the water streams. RD 52.4.622-2001. Moscow: RosHydromet Publ., 2001. 68 p. (In Russian).
10. Savichev O.G., Reshet'ko M.V. Estimating sediment yields and reverbed deformations of unexplored lowland rivers in the Western Siberia taiga zone. *Inzhenernye izyskaniya – Engineering Survey*, 2012, no. 1, pp. 52-56. (In Russian).
11. Kolyushkina I.M. Neobychnaya mutnost' vody r.Aktru v 1962 godu [Extraordinary turbidity of the Aktru in 1962]. *Glyatsiologiya Altaya*, 1965. Issue IV, pp. 232-237.

Received: May 21, 2014