

ГИДРОХИМИЯ РУЧЬЕВ БАСЕЙНА

р. МЯКИТ (Северо-Восток России)

на УЧАСТКАХ ОТРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

Выполнен сравнительный анализ химического состава вод в ручьях бассейна р. Мякит в верховьях р. Колымы. Пробы отбирались в 2010 г. выше участков отработки россыпных месторождений золота и на самих участках отработок, проводившихся в 40-х – 90-х годах прошлого века. В зоне протекания ручьев по техногенным образованиям в воде резко увеличивается содержание основных ионов и микрокомпонентов. Уровень общей минерализации воды возрос до 14,4, общей жесткости – до 165 раз. Количество сухого и прокаленного остатка увеличилось, соответственно, до 20,8 и 24,5 раза.

Введение

Более 80 лет северо-восток России является «валютным цехом» страны. Только в Верхне-Колымском регионе из россыпных месторождений добыто более 2500 т золота [1]. При этом были переработаны десятки миллиардов кубических метров рыхлых отложений речных долин. Более чем в тысячи ручьев и рек на участках разработки россыпей было нарушено естественное протекание аллювиальных процессов. Все это, несмотря на суровые климатические условия, в которых находится Северо-Восток России, не может не сказываться на эколого-геохимическом состоянии поверхностных вод в районах активного проведения добычных работ.

При отработке россыпных месторождений основное внимание уделяется содержанию в поверхностных водах взвешенной составляющей (мути). Химический состав вод изучается эпизодически. И хотя в отдельных работах отмечается изменение химического состава вод ручьев после отработки

И.С. Литвиненко*,

кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук

россыпных месторождений [2], интенсивность протекания этого процесса и определяющие его факторы остаются слабо изученными. Для рассмотрения этих вопросов была выполнена оценка степени изменения химического состава вод ручьев на участках отработки россыпных месторождений в бассейне р. Мякит.

Материалы и методы исследования

Отбор проб воды проводился в межлетний период в конце июня – первой половине июля 2010 г. Опробовались воды ручьев как в зоне их протекания по техногенным образованиям, так и выше отработок. Определение содержания компонентов в химическом составе воды проводилось в Северо-Восточном комплексном научно-исследовательском институте им. Н.А. Шило ДВО РАН методами атомной абсорбции, фотокolorиметрии, титриметрии, турбидиметрии, весовым [3-5]. Измерение величины рН выполнено на ионометре ЭВ-74.

Результаты и их обсуждение

Геологическая и ландшафтно-климатическая характеристика района работ

Р. Мякит входит в бассейн р. Колымы в ее верховьях. Опробование воды проводилось в ручьях Кункуй, Плацдарм, 14-я Верста, Берентал, Забытый в нижнем течении реки (рис. 1). Истоки ручьев располагаются в эндо- и экзоконтактной части гранитного штока. Развитие речных долин происходит в триасовых терригенных осадочных породах, представленных песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами. Долины ручьев пересекаются субпараллельными р. Мякит тектонически-

*Адрес для корреспонденции: litvinenko@neisri.ru

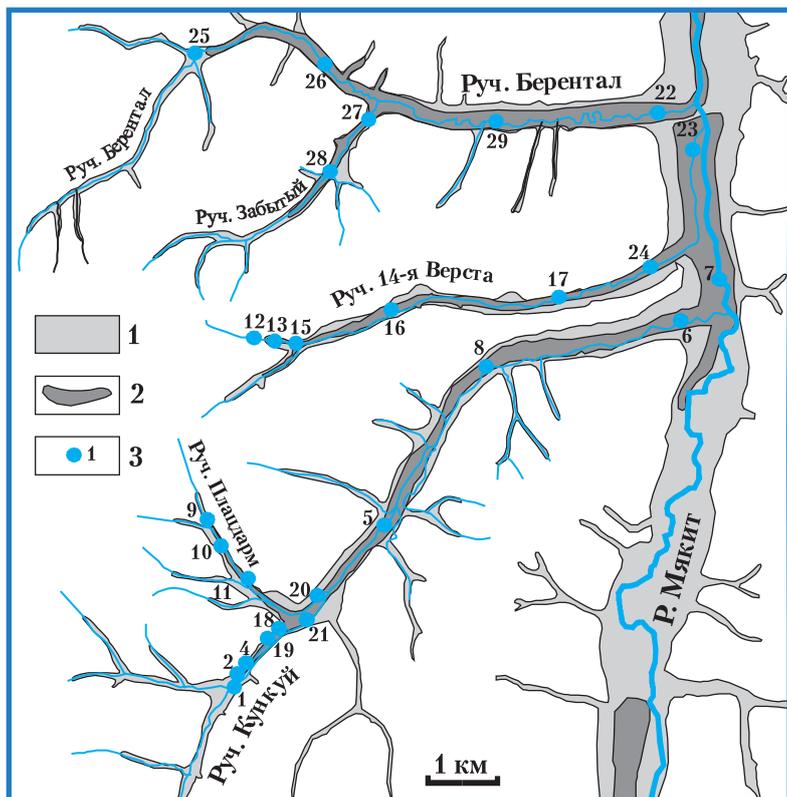


Рис. 1. Схема опробования ручьев: 1 — аллювий речных долин; 2 — контуры отработанных россыпей; 3 — местоположение точек отбора проб воды и их номера

ми зонами с кварц-карбонат-сульфидной минерализацией.

Район работ характеризуется развитием, в основном, мелкогорного сильно расчлененного рельефа со сглаженными пологими водоразделами и глубоко врезаемыми долинами. Рисунок речной сети исследованных притоков р. Мякит перистый или радиальный. Её особенностью является отсутствие крупных притоков. В первую очередь это характерно для руч. 14-я Верста. Ручьи Кункуй и Берентал по системе Р. Хортонa [6] относятся к третьему порядку, ручьи Плацдарм, 14-я Верста, Забытый — ко второму. Ручьи имеют хорошо разработанные долины трапецидальной формы с асимметричными склонами: правый склон крутой, левый — пологий. Их боковые притоки, находящиеся в стадии формирования (первого порядка) — V-образную. Мощность аллювиальных отложений по данным разведочных работ в долинах третьего порядка достигала 10-12 м (обычно составляет до 5-6 м). Зона действия современных ручьев, отвечающая равновесной стадии развития речных долин, значительно уже ширины днища. На не затронутых обработкой

россыпных месторождений участках современные русловые отложения представлены галькой преимущественно терригенных пород с песчано-гравийным заполнителем и отдельными валунами гранитов. Они вложены в аллювиальные толщи предыдущих стадий развития речных долин, которые находятся, преимущественно, в мерзлом состоянии и только непосредственно в зоне влияния современного русла ручьев отмечаются маломощные таликовые зоны.

Климат района резко-континентальный с суровой продолжительной зимой (средняя температура января -39°C) и коротким прохладным летом (средняя температура июля до $+14^{\circ}\text{C}$). Весна и осень короткие, с ночными заморозками, которые нередки и в конце, и начале лета. Снежный покров устанавливается в конце сентября и сходит в конце мая. Среднее количество дней в году с отрицательной температурой более 200, среднегодовая температура около -11°C . Средне годовое количество осадков составляет около 460 мм в год.

Основным источником питания рек и ручьев являются снеговые и дождевые воды, грунтовое питание играет очень незначительную роль. В отдельных ручьях немалую долю в их питании составляют наледи. Водный режим ручьев резкопеременный, уровень воды в них подвержен значительным колебаниям в зависимости от количества атмосферных осадков и интенсивности весеннего таяния. Наблюдается быстрый и значительный подъем воды во время обильных и продолжительных осадков и резкий спад ее после окончания дождей. Период ледостава приходится на конец октября — начало ноября, вскрытие начинается в мае. Большинство ручьев в зимний период промерзает полностью.

Посттехногенные геосистемы речных долин

В долинах ручьев Кункуй, Плацдарм, 14-я Верста, Берентал и Забытый, начиная с 30-х годов прошлого века, были выявлены и в настоящее время практически полностью отработаны россыпные месторождения золота. В долине руч. Кункуй добычные работы велись с 1967 по 2000 гг. Основной их объем приходится на 1967-1990 гг. Отработка россыпи в долине руч. Плацдарм осуществлена преимущественно в 1974-1989 гг. Эксплуатация россыпного месторождения руч. 14-я Верста проводилась с 1939 г. В первые годы освоения (1939-



Рис. 2. Ручей на зятянугом рыхлыми отложениями полигоне в долине руч. Берентал, возникший в результате оттайки мерзлоты

1960 гг.) был отработан ее нижний участок. Основной объем добычных работ приходится на 1981-1995 гг. Россыпь руч. Берентал вовлечена в отработку с 50-х годов прошлого века. В основном она отработана в 1971-1980 и 1986-1990 гг. Россыпь руч. Забытый отмыта в 80-х годах.

Отработка россыпных месторождений велась открытым карьерным способом. Вскрышные отвалы располагались как на днищах долин, так и выталькивались на их борта. Галечные, эфельные и гале-эфельные отвалы, илоотстойники формировались в пределах днищ долин. По мере совершенствования землеройной техники и снижения кондиций, отрабатываемые контуры расширялись и наращивались. В связи с этим техногенный комплекс неоднократно обновлялся.

Облик днищ долин на участках отработки россыпных месторождений коренным образом изменился. Некогда сложенная аллювием относительно ровная поверхность высокой поймы (первой надпойменной террасы) сменилась сочетанием техногенных отрицательных (полигоны, зумпфы, канавы и т.д.) и положительных (отвалы, дамбы и т.д.) форм.

Естественные русло и пойма современных ручьев вместе с присущими им формами микрорельефа на участках отработки россыпных месторождений уничтожены. На таких участках в пределах техногенных форм днищ долин развивается два вида водотоков. Первый из них возникает на отно-

сительно недавно пройденных полигонах в результате оттайки в их днищах и бортах многолетней мерзлоты. Они представляют собой небольшие ручьи, протекающие в пониженных частях полигонов по коренным породам или в маломощном слое перекрывающих их рыхлых образований. Дно таких ручьев зачастую покрыто красно-бурым или желто-серым налетом гидроксидов железа (рис. 2).

Второй вид водотоков, развивающихся в пределах техногенных форм, — это «изначальные» водотоки. При отработке россыпей они с помощью канав были отведены за пределы проходившихся полигонов. По завершению добычных работ в большинстве случаев происходит возвращение ручьев к месту их первоначального протекания с формированием из обломочного материала отвалов вторичных аллювиальных комплексов (рис. 3).

В целом можно отметить, что эволюция ландшафтов речных долин, затронутых разработкой россыпных месторождений, представляет весьма сложный и в настоящее время еще слабоизученный процесс [7]. Природные геосистемы речных долин сменяются техногенными, а затем посттехногенными (преобразование техногенных и техногенно-природных геосистем природными процессами), с формированием природно-техногенных ландшафтов. При этом процесс может быть многократным.

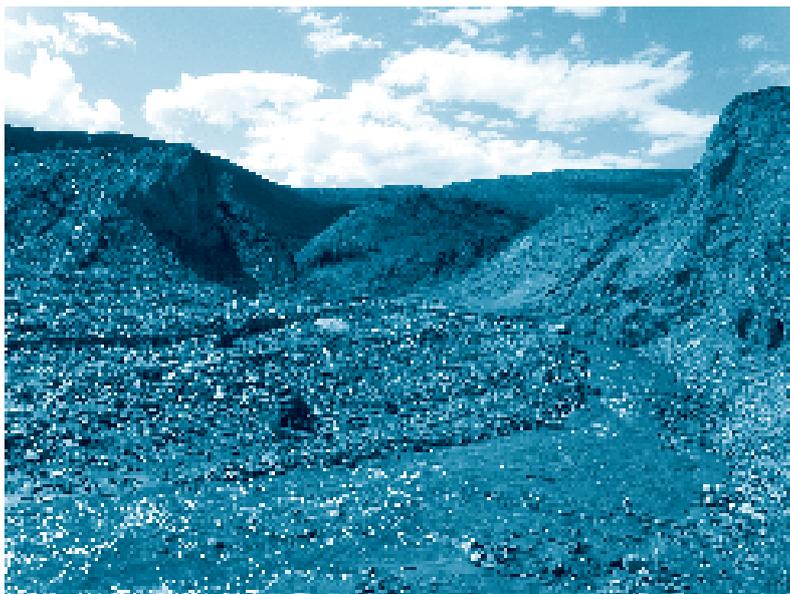


Рис. 3. Ручей 14-я Верста в техногенных образованиях.

Место отбора проб	№ проб	pH	Анионы													Катионы				Общая жесткость (мг-экв/л)
			Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	Fe ⁺⁺⁺ (общее)	Zn ⁺⁺	Cu ⁺⁺	Cd ⁺⁺	Mn ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Общая минерализация	Сухой остаток		
Руч. Кункуй выше отработок	1	6,2	0,9	0,13	0,32	2,91	0,04	0,05	-	-	0,01	0,06	1,1	28,5	-	0,04	34,0	42,3	0,26	
	2	6,0	3,42	0,38	3,70	19,95	0,025	0,04	0,01	-	-	0,58	0,7	51,00	-	0,085	79,3	172,6	1,83	
Ручьи на днищах полигонов в долине руч. Кункуй	4	5,2	4,12	0,74	16,2	28,5	0,24	0,01	0,65	0,04	-	6,90	0,98	55,00	-	0,44	106,9	418,9	3,15	
	18	5,9	1,5	0,3	6,92	10,9	-	0,03	-	0,01	-	0,11	1,46	25,8	-	0,22	47,1	161,9	1,24	
Руч. Кункуй в техногенных образованиях	19	5,4	1,56	0,24	2,15	6,74	-	0,01	-	0,02	0,01	0,01	0,85	26,0	-	-	37,6	74,1	0,66	
	21	6,2	1,94	0,24	4,06	9,18	-	0,04	-	0,03	0,02	0,05	1,16	28,0	0,01	-	44,7	99,5	0,96	
Руч. Плацдарм в техногенных образованиях	5	6,4	2,40	0,29	4,00	10,86	0,055	0,02	-	-	-	-	1,46	61,2	-	0,085	80,37	108,4	1,09	
	8	5,4	1,6	0,21	3,14	7,79	0,05	0,07	0,04	-	0,01	0,15	1,9	38,50	-	-	53,3	89,3	0,80	
Руч. Плацдарм выше отработок	6	5,4	1,70	0,22	4,1	7,96	0,05	0,04	0,06	0,01	0,06	0,08	0,8	40,7	-	0,085	55,8	87,8	0,86	
	9	5,2	0,93	0,1	0,2	0,3	0,01	0,09	0,02	-	0,05	-	1,9	-	0,015	-	3,6	18,75	0,03	
Руч. Плацдарм в техногенных образованиях	10	5,0	1,16	0,14	0,22	0,91	-	0,05	0,01	0,02	0,05	0,08	1,7	-	0,025	-	4,3	28,7	0,09	
	11	5,2	1,54	0,18	0,70	4,91	0,025	0,02	0,02	0,02	0,02	0,26	1,04	43,3	-	-	51,8	62,3	0,44	
Руч. 14-я Верста выше отработок	20	6,6	3,25	0,4	6,25	13,0	0,005	0,05	0,01	0,01	0,02	0,39	1,6	24,0	0,01	0,15	48,8	146,0	1,38	
	12	4,9	1,1	0,1	0,2	0,26	-	0,03	0,01	-	0,04	0,07	0,55	12,0	0,02	-	14,3	21,25	0,03	
Ручей на днище полигона в долине руч. 14-я Верста	17	6,0	2,5	0,25	0,5	3,84	0,015	0,03	-	0,02	0,02	0,10	1,1	36,5	-	0,085	44,9	66,25	0,34	
	15	5,4	2,25	0,26	3,60	16,45	0,02	0,13	0,04	0,01	0,02	0,42	0,98	61,2	0,005	0,02	85,0	109,25	1,53	
Руч. 14-я Верста в техногенных образованиях	16	6,9	2,76	0,32	6,68	21,95	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,07	3,42	43,3	0,015	0,24	78,8	195,55	2,14	
	17	7,0	4,58	0,57	13,16	52,2	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	-	5,4	39,5	0,01	0,41	115,9	435,5	4,95	
Руч. Беренгал выше отработок	24	6,4	5,02	0,74	14,10	49,55	0,05	0,24	-	-	0,01	0,56	7,02	44,7	-	-	121,43	419,70	4,78	
	23	6,6	4,52	0,5	8,18	28,35	-	0,08	-	0,03	0,01	-	4,4	28,2	0,015	-	74,3	287,0	2,74	
Руч. Беренгал в техногенных образованиях	25	5,2	1,28	0,1	0,03	0,70	0,05	0,04	0,03	-	0,01	0,03	1,16	10,0	-	0,02	13,4	29,3	0,06	
	26	6,4	2,7	0,42	6,5	14,75	0,005	0,16	0,03	0,02	0,01	0,64	1,46	33,0	-	0,03	59,1	182,85	1,54	
Руч. Забытый в техногенных образованиях	28	6,9	3,6	0,44	6,49	23,20	0,025	0,10	0,04	0,01	0,02	0,06	3,05	32,52	0,005	-	69,5	215,55	2,23	
	22	7,0	3,88	0,56	6,64	21,15	0,005	0,12	-	0,01	0,03	-	3,78	27,3	-	0,068	63,5	183,75	2,07	
Р. Мякит	28	6,2	5,30	0,6	13,00	32,55	0,025	0,01	0,06	0,02	0,01	0,01	3,66	46,6	-	0,26	102,1	457,1	3,33	
	27	5,6	4,44	0,52	9,20	51,55	0,085	0,10	0,12	-	0,01	0,32	0,7	61,2	-	-	127,9	385,2	4,70	
	7	6,2	1,88	0,24	0,5	2,95	0,01	0,06	0,02	-	0,08	-	2,14	25,0	-	0,26	33,1	55,05	0,27	

Примечание: прочерк — содержание иона ниже чувствительности анализа. Ионы CO₃⁻ и Cl⁻ не обнаружены.

Таблица 2

Баланс компонентов в химическом составе вод ручьев бассейна р. Мяжит, %

Место отбора проб	№ проб	Анионы										Катионы					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	Fe ⁺⁺⁺ (общее)	Zn ⁺⁺	Cu ⁺⁺	Cd ⁺⁺	Mn ⁺⁺	Сумма	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Сумма
Руч. Кункуй выше отработок	1	12,93	1,10	5,28	79,02	0,73	0,89	-	-	0,06	0,72	100,00	2,95	96,95	-	0,11	100,00
Ручьи на днищах полигонов в долине руч. Кункуй	2	7,48	0,49	9,30	82,53	0,07	0,11	0,02	-	-	1,06	100,00	1,07	98,80	-	0,13	100,00
	4	5,29	0,56	23,91	69,21	0,39	0,02	0,59	0,04	7,42	100,00	1,37	98,02	-	0,61	100,00	
	18	4,95	0,58	26,26	68,06	-	0,12	-	0,02	0,3	100,00	4,24	95,13	-	0,63	100,00	
19	9,21	0,83	14,58	75,2	-	0,07	-	0,09	0,02	0,05	100,0	2,51	97,49	-	-	100,00	
21	8,02	0,58	19,29	71,78	-	0,2	-	0,09	0,03	0,17	100,00	3,16	96,81	0,04	-	100,00	
Руч. Кункуй в техногенных образованиях	5	8,64	0,61	16,54	73,87	0,25	0,09	-	-	-	-	100,00	1,84	98,05	-	0,11	100,00
	8	7,90	0,61	17,82	72,76	0,31	0,43	0,14	0,02	0,62	100,00	3,74	96,26	-	-	100,00-	
6	7,81	0,59	21,63	69,11	0,29	0,23	0,19	0,03	0,11	0,31	100,00	1,52	98,32	-	-	100,00	
Руч. Плацдарм выше отработок	9	47,83	3,02	11,82	29,17	0,66	5,72	0,72	1,05	-	100,00	98,96	-	1,04	-	100,00	
Руч. Плацдарм в техногенных образованиях	10	34,95	2,48	7,62	51,53	-	1,86	0,21	0,44	2,02	100,00	98,09	-	1,91	-	100,00	
	11	13,02	0,89	6,80	78,49	0,27	0,21	0,12	0,07	1,84	100,00	1,86	98,14	-	-	100,00	
20	9,20	0,67	20,32	69,56	0,02	0,17	0,02	0,02	0,02	0,92	100,00	4,96	94,54	0,04	0,46	100,00	
Руч. 14-я Верста выше отработок	12	56,68	3,03	11,84	25,33	-	1,91	0,36	-	0,84	100,00	3,48	96,36	0,17	-	1000,00	
Ручей на днище полигона в долине руч. 14-я Верста	17	23,67	1,39	5,44	68,75	0,18	0,35	-	0,14	0,08	100,00	2,31	97,51	-	0,18	100,00	
	15	5,94	0,40	10,92	82,13	0,07	0,42	0,07	0,02	0,93	100,00	1,24	98,72	0,01	0,02	100,00	
Руч. 14-я Верста в техногенных образованиях	16	5,29	0,36	14,70	79,51	0,02	0,05	0,01	0,04	0,11	100,00	5,83	93,74	0,03	0,40	100,00	
	17	3,86	0,28	12,73	83,08	0,02	0,01	0,01	0,01	-	100,00	9,64	89,61	0,02	0,72	100,00	
24	4,34	0,38	14,00	80,97	0,06	0,26	-	-	-	0,41	100,00	11,00	89,00	-	-	100,00	
23	6,65	0,43	13,83	78,90	-	0,15	-	0,03	0,01	-	100,00	10,93	89,02	0,05	-	100,0	
Руч. Беренгал выше отработок	25	46,08	2,12	1,24	47,65	0,23	1,78	0,76	-	0,15	100,00	8,35	91,50	-	0,14	100,00	
Руч. Беренгал в техногенных образованиях	26	7,00	0,64	19,37	72,35	0,02	0,51	0,05	0,04	1,39	100,00	3,36	96,57	-	0,07	100,00	
	28	6,50	0,47	13,47	79,21	0,06	0,22	0,05	0,01	0,09	100,00	6,88	93,11	0,01	-	100,00	
22	7,46	0,63	14,67	76,90	0,01	0,29	-	0,01	0,02	-	100,00	9,81	90,02	-	0,17	100,00	
28	6,45	0,43	18,16	74,84	0,04	0,02	0,05	0,02	-	0,01	100,00	5,80	93,80	-	0,41	100,00	
27	3,93	0,27	9,35	86,17	0,10	0,11	0,07	-	-	0,24	100,00	0,89	99,11	-	-	100,00	
Р. Мяжит в техногенных образованиях	7	22,63	1,7	6,92	67,14	0,15	0,89	0,17	-	0,39	100,0	6,27	92,99	-	0,75	100,00	

Примечание: прощек — содержание иона ниже чувствительности анализа.

Характер протекания экзогенных процессов на участках отработки россыпных месторождений существенно меняется. Происходит резкая деградация многолетней мерзлоты [8]. В связи с этим в ручьях значительно возрастает доля подземного стока, в т.ч. в трещиноватых породах коренного ложа долин. В местах прорыва восстанавливаемым водотоком дамб на локальных участках (протяженностью 10-15 м) происходит развитие донной эрозии с глубиной вреза ручья в коренные породы до 1,5 м [9]. На участках развития водотоков в отвальном комплексе скорость боковой эрозии достигает 10 м/год. Это приводит к переработке ручьями за короткий срок огромных масс рыхлого материала.

Находившийся длительное время в мерзлом состоянии обломочный материал отвалов, выведенный на поверхность, испытывает интенсивное разрушение. Галька и валуны осадочных пород растрескиваются по плоскостям сланцеватости с образованием характерных «щеток», после чего разлагаются до песчаных и пелитовых частиц [10], галька и валуны гранитов рассыпаются до дресвы и песка. Наряду с физическим активизируется и химическое разрушение пород, особенно в первые годы после отработки россыпи в отвалах, представленных разрушенными породами коренного ложа долин. Об этом свидетельствует появление на обломочном материале таких отвалов белых налетов сульфатов (гидросульфатов), которые со временем исчезают. На участках развития сульфидизации такие выцветы продолжают существовать длительное время и достигают толщины несколько миллиметров. Резко активизируется жизнедеятельность железобактерий. На вскрышных отвалах и перекрытых мелкообломочным материалом (смытым с бортов) днищах полигонов, а со временем и на эфельных образованиях идет активное развитие травяного почвенно-растительного покрова [11].

Химический состав вод ручьев

По результатам проведенных анализов вода в ручьях бассейна р. Мякит на участках их естественного протекания слабокислая и характеризуется очень низкой минерализацией (табл. 1). В большинстве случаев она имеет сульфатный натриево-магниевый или кальциево-магниевый-натриевый состав, в отдельных ручьях (берущих начало с гранитов) — гидрокарбонатный кальциево-магниевый-натриевый (табл. 2). Общая ми-

Ключевые слова: техногенный комплекс, ручьи, минерализация

нерализация не превышает 34 мг/л, общая жесткость — 0,26 мг-экв/л.

Химический состав вод ручьев, возникающих на днищах полигонов в результате оттайки многолетней мерзлоты, изучен на полигонах, проходившихся в конце 90-х — начале 2000-х годов в долинах руч. Кункуй и 14-я Верста. Минерализация воды в таких ручьях превышает минерализацию воды в ручьях выше отработок (табл. 3). Повсеместно отмечается более высокое содержание Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , NO_3^- ; на отдельных участках — Cu^{++} , Zn^{++} , Mn^{++} , HCO_3^- и SO_4^- (табл. 3). В балансе анионов по сравнению с водой ручьев в их естественном протекании уменьшается роль Na^+ , K^+ и возрастает доля Ca^{++} (долина руч. Кункуй) и Mg^{++} (в долине руч. 14-я Верста). В балансе катионов в большинстве случаев возрастает роль нитратного, на отдельных участках гидрокарбонатного и сульфатного ионов.

Химический состав воды таких ручьев зависит от состава коренных пород плотика россыпи. При наличии в породах плотика жильных и рудных образований превышение концентраций Na^+ достигает 4,6, K^+ — 5,7, Ca^{++} — 50,6, Mg^{++} — 9,8, NH_4^+ — 6,0, Zn^{++} — 72,2, Cu^{++} — 4,4, Mn^{++} — 115,0, NO_3^- — 11,0 раз (табл. 3, проба №4). Полученные материалы указывают, что оттайка мерзлоты в днище и бортах полигонов сопровождается разрушением, прежде всего, сульфидов и карбонатных образований. Резкие возрастания Zn^{++} , Mn^{++} , NO_3^- на таких участках могут указывать на выход здесь подземных вод, протекающих по рудным зонам [12, 13]. В целом состав вод таких ручьев преимущественно сульфатный кальциево-магниевый (табл. 2).

«Изначальные» ручьи, протекая среди техногенных образований, обогащаются Na^+ — до 4,6, K^+ — до 7,4, Ca^{++} — до 221,3, Mg^{++} — до 200,8, SO_4^- — до 1110,3 раз; в большинстве случаев — NH_4^+ — до 26,3, Cu^{++} — до 3,3, Mn^{++} — до 21,3, HCO_3^- — до 12,8 и NO_3^- — до 21,6 раза, на отдельных участках — Fe^{+++} (общее) — до 8,0, Zn^{++} — до 6,7, Cd^{++} — до 6,0; NO_2^- — до 2,5 раз. Общая минерализация возрастает до 14,4, общая жесткость — до 165,0 раз (табл. 3).

Наибольшее повышение минерализации воды ручьев, протекающих в зоне техногенных образований, отмечается в долинах, где доля боковых притоков в общем балансе воды по отношению к основному водотоку не существенна, а в коренных породах

Таблица 3

Отношение химического состава вод ручьев в техногенных образованиях к химическому составу вод ручьев выше отработок

Место отбора проб	№ проб	Анионы											Катионы				Общая минерализация	Сухой остаток	Общая жесткость
		pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	Fe ⁺⁺ (общее)	Zn ⁺⁺	Cu ⁺⁺	Cd ⁺⁺	Mn ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻			
Ручьи на днищах полигонов в долине руч. Кункуй	2	-1,2	+3,8	+2,9	+11,6	+6,9	-1,6	-1,3	+1,1	-1,3	-1,3	+9,7	-1,6	+1,8	-1,0	+2,1	+2,3	+4,1	+7,0
	4	-1,2	+4,6	+5,7	+50,6	+9,8	+6,0	-5,0	+72,2	+4,4	-5,0	+115,0	-1,1	+1,9	-1,0	+11,0	+3,1	+9,9	+12,1
	18	-1,1	+1,7	+2,3	+21,6	+3,7	-21,1	-1,7	-1,0	+1,1	-1,1	+1,8	1,3	-1,1	-1,0	+5,5	+1,4	+3,8	+4,8
	19	-1,1	+1,7	+1,8	+6,7	+2,3	-21,1	-5,0	-1,0	+2,2	1,0	-6,0	-1,3	-1,1	-1,0	-2,1	+1,1	+1,8	+2,5
	21	+1,0	+2,2	+1,8	+12,7	+3,2	-21,1	-1,3	-1,0	+3,3	+2,0	-3,0	+1,1	+1,0	+2,5	-2,1	+1,3	+2,4	+3,7
Руч. Кункуй в техногенных образованиях	5	+1,0	+2,7	+2,2	+12,5	+3,7	+1,3	-2,5	-1,0	-1,0	-1,1	-6,7	+1,3	+2,1	-1,0	+2,1	+2,4	+2,6	+4,2
	8	-1,1	+1,8	+1,6	+9,8	+2,7	+1,3	+1,4	+4,4	1,0	+2,5	+1,7	+1,4	-1,0	-2,1	+1,6	+1,6	+2,1	+3,1
	6	-1,1	+1,9	+1,7	+12,8	+2,7	+1,3	-1,3	+6,7	+1,1	+6,0	+1,3	-1,4	+1,4	-1,0	+2,1	+1,6	+2,1	+3,3
	10	-1,0	+1,2	+1,4	+1,1	+3,0	-5,3	-1,8	-2,0	+2,2	-1,0	+2,8	-1,1	+1,0	+1,7	+1,0	+1,2	+1,5	+3,0
Ручей на днище полигона в долине руч. 14-я Верста	11	1,0	+1,7	+1,8	+3,5	+16,4	+2,5	-4,5	1,0	+2,2	-2,5	+9,0	-1,8	+1110,3	-1,7	+1,0	+14,4	+3,3	+14,7
	20	+1,3	+3,5	+4,0	+31,3	+43,3	-2,0	-1,8	-2,0	+1,1	-2,5	+13,4	-1,2	+620,5	-1,5	+7,9	+13,6	+7,8	+46,0
	13	+1,2	+2,3	+2,5	+2,5	+14,8	+7,9	1,0	-1,1	+2,2	-2,0	+1,4	+2,0	+3,0	-2,2	+4,5	+3,1	+3,1	+11,3
Руч. 14-я Верста в техногенных образованиях	15	+1,1	+2,0	+2,6	+18,0	+63,3	+10,5	+4,3	+4,0	+1,1	-2,0	+6,0	+1,8	+5,1	-4,0	+1,1	+5,9	+5,1	+51,0
	16	+1,4	+2,5	+3,2	+33,4	+84,4	+5,3	-1,5	1,0	+1,1	+1,3	1,0	+6,2	+3,6	-1,3	+12,6	+5,5	+9,2	+71,3
	17	+1,4	+4,2	+5,7	+65,8	+200,8	+10,5	-5,0	1,0	+1,1	-2,0	-2,4	+9,8	+3,3	-2,2	+21,6	+8,1	+20,4	+165,0
	24	+1,3	+4,6	+7,4	+70,5	+190,6	+26,3	+8,0	-1,1	1,0	-4,0	+8,0	+12,8	+3,7	-1,1	1,0	+8,5	+19,8	+159,3
	23	+1,3	+4,1	+5,0	+40,9	+109,6	1,0	+2,7	-1,1	+3,3	-4,0	-2,4	+8,0	+2,4	-1,3	+1,0	+5,2	+13,5	+91,3
Руч. Беренгал в техногенных образованиях	26	+1,2	+2,1	+4,2	+216,7	+21,1	+10,0	+4,0	-1,0	+2,2	-1,0	+21,3	+1,3	+3,3	1,0	+1,5	+4,4	+6,2	+25,7
	28	+1,3	+2,8	+4,4	+216,3	+33,1	+5,0	+2,5	+1,3	+1,1	+2,0	+2,0	+2,6	+3,3	+1,0	-1,1	+5,2	+7,4	37,2
	22	+1,3	+3,0	+5,8	+221,3	+30,2	1,0	+3,0	-3,3	+1,1	+3,0	-1,0	+3,3	+2,7	1,0	+3,4	+4,7	+6,3	+34,5
Руч. Забытый в техногенных образованиях	28	+1,2	+4,5	+6,0	+113,0	+67,8	+3,6	-3,5	+3,0	+2,2	-2,5	-5,0	+4,3	+4,2	1,0	+13,3	+7,4	+18,1	+74,0
	27	+1,1	+3,7	+5,2	+80,0	+107,4	+12,1	+2,9	+6,0	1,0	-2,5	+6,4	-1,22	+5,6	-2,54	-1,03	+9,2	+15,2	+104,4

Примечание: отношение со знаком плюс показывает, что содержание компонентов в водах ручьев в техногенных образованиях выше, чем в водах ручьев выше отработок, со знаком минус – ниже, единица без знака – содержание данного компонента не меняется. Для руч. Забытый отношение химического состава воды в ручье на отрезке, протекающем по техногенным образованиям, взято к среднему химическому составу вод ручьев Беренгал и 14-я Верста выше отработок. При содержании иона ниже чувствительности анализа в расчет принималось содержание на 0,001 мг/л ниже предела обнаружения.

днищ долин развита рудная минерализация (табл. 2, руч. 14-я Верста, Берентал). Достаточно определенно устанавливается также возрастание уровня минерализации вод в ручьях к их устью (от более поздних отработок к более ранним) (табл. 3).

Наряду с возрастанием минерализации изменяется баланс основных компонентов в химическом составе вод ручьев, протекающих по техногенным образованиям. В руч. Кункуй натриево-магниевый состав вод сменяется на кальциево-магниевый. Происходит резкое возрастание роли кальция при некотором уменьшении доли магния, двукратном уменьшении доли калия и полторократном уменьшении доли натрия. При этом баланс катионов (с резким преобладанием сульфат иона) в целом сохраняется (табл. 2). Гидрокарбонатный магниевый-натриевый состав вод руч. Плацдарм в техногенных образованиях на участке развития минерализованных тектонических зон сменился сульфатным натриево-магниевым и кальциево-магниевым. Резкая смена баланса катионного состава произошла и в руч. 14-я Верста. На участках отработки россыпи в водах ручья отмечается десятикратное уменьшение доли натрия и калия при двукратном возрастании доли каль-

ция и более чем трехкратном возрастании доли магния. Среди катионов почти десятикратно возросла доля гидрокарбонатного иона. Натриево-кальциевый состав вод руч. Берентал сменился кальциево-магниевым при семикратном уменьшении доли натрия и четырехкратном калия и более чем десятикратном и полторакратном увеличении роли кальция и магния. В составе катионов слегка уменьшилась роль гидрокарбонатного иона при незначительном росте роли сульфатного иона.

В результате расчета корреляционных связей между компонентами химического состава вод ручьев по методу, описанному в [14], среди них определились три ассоциации (рис. 4). В первую входят катионы Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{+++} (общее) и анионы SO_4^- и HCO_3^- . Именно эти компоненты определяют общую минерализацию и жесткость вод, pH среды, состав сухого остатка (рис. 4). Они поступили, главным образом, в результате выветривания сульфидизированных обломков пород, слагающих отвальные комплексы. Резкое возрастание роли кальция и магния в водах ручьев, протекающих по техногенным образованиям, указывает, что в обломочном материале отвалных образований в первую очередь происходит угле- и сернокислотное выветривание карбонатных минералов и разрушение входящих в состав осадочных пород хлоритов.

Наибольшее поступление компонентов первой ассоциации в воды ручьев происходит в период весеннего таяния снегов. Последующий резкий спад паводков приводит к выпадению в зоне их действия на обломочном материале отвалов и вторичного аллювия красно-бурых, серо-желтых и серо-белых налетов. Такие же налеты отмечаются и на аллювии на дне ручьев Берентал, Забытый, 14-я Верста. На отдельных участках вода в этих ручьях имеет красноватый или беловатый цвет. Наиболее широко распространены красно-бурые налеты, мощность которых достигает несколько миллиметров. Сложены они гидроксидами железа (гидроферрит, лепидокрокит), образование которых происходило при активном участии железобактерий.

Во вторую корреляционную ассоциацию компонентов химического состава вод входят Cu^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , NH_4^+ , NO_3^- . Резкое возрастание содержания данных ионов во временных ручьях на днищах полигонов с рудной и жильной минерализацией позволяет предполагать, что их поступление

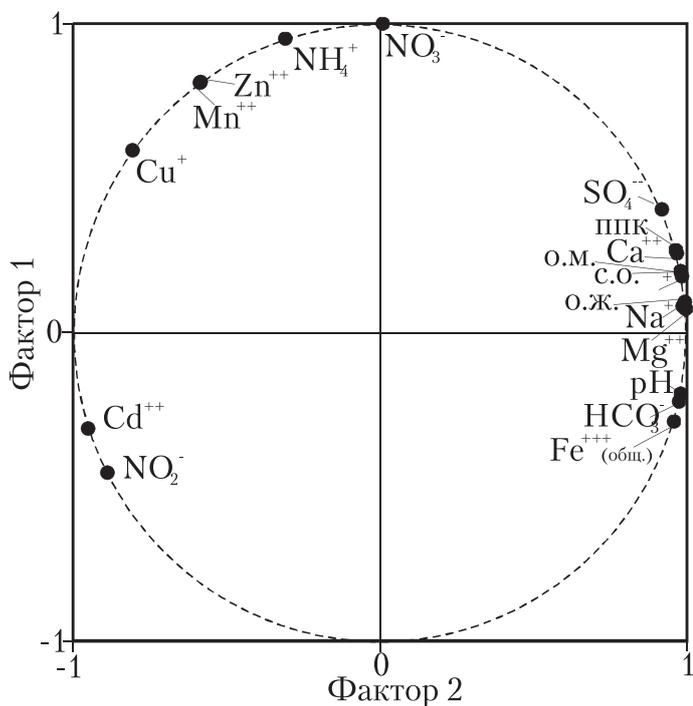


Рис. 4. Структура комплекса компонентов химического состава вод ручьев в координатах главных факторов. о.м. — общая минерализация, о.ж. — общая жесткость, с.о. — сухой остаток, ппк — потери при прокаливании.

в ручьи на участках отработки россыпных месторождений связано с выходами подземных вод, протекающим по рудным зонам. Активное проявление и выход подземных вод на таких участках обусловлены резкой деградацией многолетней мерзлоты. Третью группу составляют имеющие локальное распространение ионы Cd^{++} и NO_2^- . Их поступление, очевидно, связано с разложением организмов и растений, находившихся в мерзлых толщах пород, перешедших в отвальный комплекс в результате отработки россыпных месторождений.

Заключение

Таким образом, отработка россыпных месторождений на Северо-Востоке России сопровождается не только изменением морфологии речных долин (особенно днищ), загрязнением вод ручьев и рек алеврито-глинистыми частицами, но и изменением их химического состава. И хотя содержание большинства компонентов не превышает предельно допустимые концентрации, вкусовые качества вод ручьев, протекающих по техногенным образованиям, резко ухудшаются. При высокой сульфидизации и карбонатизации коренных пород в бассейне водотоков такие воды становятся не пригодными для водоснабжения населения данных мест. При этом если нивелировка техногенных форм рельефа и очистка вод

ручьев от алеврито-глинистых частиц с прекращением добычных работ происходят относительно быстро, то на восстановление химического состава вод потребуются очень длительное время.

Литература

1. Россыпи золота Северо-Востока России (модели для прогноза, поисков и разведки) / Под ред. М.М. Константинов, М.З. Зиннатуллин, Ю.В. Прусс. М.: Комитет природных ресурсов по Магаданской области, Министерство природных ресурсов Российской Федерации), 1999. 137 с.
2. Глотова Л.П. Трансформация стока малых горных водотоков бассейна р. Колыма при отработке россыпей / Л.П. Глотова, В.Е. Готов // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий: В 3 т. Т.3. Четвертичная геология, геоморфология, россыпи: Мат. XI сессии Северо-Восточного отделения ВМО «Региональная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Ю.А. Билибина». Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. С. 125-127.
3. Бородатый И.Т. Методическое руководство по анализу природных и сточных вод. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд., 1973. 178 с.
4. Резников А.А. Методы анализа природных вод / А.А. Резников, Е.П. Муликовская, И.Ю. Соколов. М.: Недра, 1970. 488 с.
5. Столярова А.А. Атомно-абсорбционная спектрометрия при анализе минерального сырья /



А.А. Столярова, М.П. Филатова. Л.: Недра, 1981. 152 с.

6. Хортон Р.Е. Гидрофизический подход к количественной морфологии. Пер. с англ. М.-Л.: Изд-во иностр. лит., 1948. 158 с.

7. Шведов С.Д. Формирование природно-техногенных геосистем россыпных месторождений малых долин Магаданской области // Геология, география, биологическое разнообразие и ресурсы Северо-Востока России. Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.П. Васьковского. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. С. 104-105.

8. Готов В.Е. Изменение мерзлотно-гидрологических обстановок в долинах малых горных рек бассейна реки Колымы под влиянием техногенных факторов / В.Е. Готов, И.А. Зуев, В.А. Кириллов // Колыма. 1976. №9. С. 33-35.

9. Шведов С.Д. Техногенный и посттехногенный морфолитогенез на россыпных месторождениях Магаданской области // География и геоэкология на современном этапе взаимодействия природы и общества: материалы Всероссийской науч. конф. «Селевостровские чтения». СПб: Санкт-

Петербургский государственный университет, ВВМ, 2009. С. 351-356.

10. Шведов С.Д. Современные экзогенные процессы на отработанных россыпных месторождениях Северо-Востока России // Отечественная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее: Материалы XXX Пленума Геоморфологической комиссии РАН. СПб.: РИЦ «Глобус», 2008. С. 180-181.

11. Пугачев А.А. Состояние, антропогенная трансформация и восстановление почвенно-растительных комплексов Крайнего Северо-Востока Азии: науч.-метод. пособие. / А.А. Пугачев, Е.А. Тихменев. Магадан: Изд. СВГУ, 2008. 182 с.

12. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое издательство. 1970. 444 с.

13. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник. 2-е изд., пераб. и доп. СПб: Гидрометеоиздат, 2001. 444 с.

14. Боровиков Л.И. Корреляционный анализ закономерностей распределения малых элементов для решения вопросов седиментогенеза / Л.И. Боровиков, Ю.К. Бурков // Генезис и классификация осадочных пород. М.: Наука, 1968. С. 128-135.

I.S. Litvinenko

HYDROCHEMISTRY OF STREAMS ON TERRITORY OF GRAVEL GOLD DEVELOPMENT OF THE MYAKIT RIVER BASIN (NORTH-EAST RUSSIA)

Comparative analysis of water chemical composition in streams of the Myakit River basin near the Kolyma River head was carried out. Water samples were taken in 2010 on a region of gravel gold development in 1940-1990 and territory locating upper it. Contents of basic ions and microcomponents rise sharply in streams near technogenic areas: level of water total salinity increases by 14.4 times and total hardness — by 165 times. Quantities of dry and ignited residue rise by 20.8 and 24.5 times, respectively.

Key words: technogenic complex, streams, salinity