

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД МЕЖДУРЕЧЬЯ рр. ЮНЬЯХИ И ЕНЗОРЬЯХИ (ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН ПОЛЯРНОГО УРАЛА)

Рассмотрено соподчиненное влияние природных факторов на формирование химического состава вод междуречья рр. Юньяха и Ензорьяха, приуроченного к восточному склону Полярного Урала. Приводятся данные по содержанию широкого спектра химических элементов в озерных, речных водах, водах деятельного слоя и техногенно-нарушенного ландшафта.

**Ключевые слова:** многолетняя мерзлота; полярный Урал; химический состав вод.

На протяжении длительного времени зона многолетней мерзлоты считалась «зоной химического покоя» или «зоной замедленных химических реакции» (А.А. Сауков), в пределах которой «роль химического выветривания минимальна» [1]. Благодаря работам Института мерзлотоведения и особенно исследованиям И.А. Тютюнова установлено, что роль мерзлоты исключительно многообразна в процессах переноса, перераспределения и концентрирования вещества. Согласно И.А. Тютюнову, процессы химического изменения пород и руд протекают не только в зоне сезонно-талого слоя, но и на более значительной глубине при постоянных отрицательных температурах [2]. Важным агентом указанных процессов являются природные воды, на особую роль которых в различных физико-химических процессах и на специфику гидрогеохимических исследований в условиях распространения многолетней мерзлоты указывали С.Л. Шварцев, П.А. Удодов, А. Левинсон, В.Н. Макаров, В.А. Загоскин [3–5]. За долгие годы плодотворных исследований накоплен обширный материал, который явился научным заделом для дальнейших работ в данной области. Сегодня районы с развитием многолетней мерзлоты активно осваиваются и являются предметом всестороннего изучения, в том числе и с гидрогеохимических позиций, что определяет актуальность работы. Основной целью данной работы является изучение особенностей химического состава вод междуречья рр. Юньяхи и Ензорьяхи восточного склона Полярного Урала.

Основываясь на теоретических представлениях о формировании состава вод в условиях многолетней мерзлоты и фактическом материале, полученном в результате гидрогеохимического опробования на восточном склоне Полярного Урала в 2004–2005 гг. (рис. 1), проведено исследование распространенности около 70 химических элементов в природных водах рек, озер, надмерзлотных вод и антропогенно нагруженных (техногенных) водах тундровых ландшафтов.

Тундровый ландшафт является продуктом холодного и влажного климата. Отрицательные среднегодовые температуры способствуют сохранению и развитию в рассматриваемом районе многолетней мерзлоты сплошного развития, однослойного строения с мощностью от 100 до 320 м. Мощность деятельного слоя, формирующегося в результате сезонного протаивания, зависит во многом от состава слагающих пород и колеблется от 0,2 до 0,5 м. Оттаивание мерзлоты приводит к заболачиванию, особенно низинных участков ландшафта. Активизации процессов заболачивания во многом способствует большое количество атмосферных осадков (400–600 мм), фильтрации которых препятствует мерзлота, а также слабая испаряемость. Последний факт усугубляется удивительной выравненностью рельефа, что приводит к формированию застойного режима вод и отражается на геохимической обстановке природных вод.

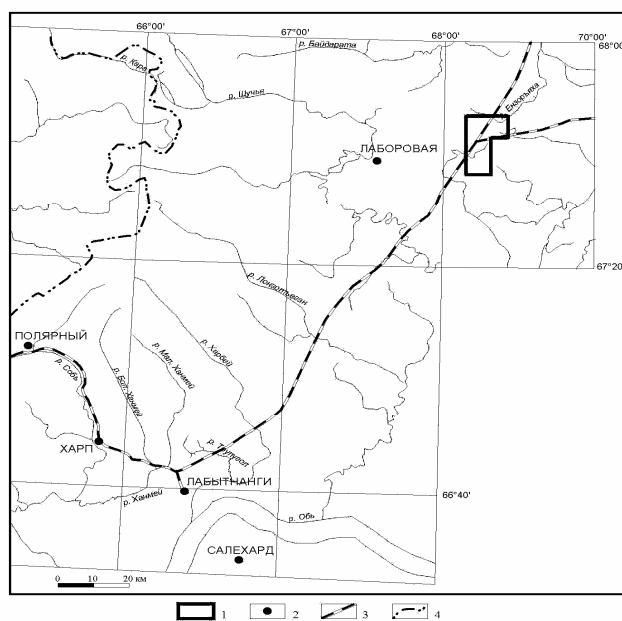


Рис. 1. Обзорная карта района работ: 1 – площадь гидрогеохимических работ; 2 – населенные пункты; 3 – железная дорога; 4 – административные границы

Важными интегральными показателями геохимических условий природных вод являются их окислительно-

восстановительный потенциал и кислотнo-щелочные свойства [6]. Кислотнo-щелочные условия вод характеризуются

изменением рН вод от 3,5 до 9. Наибольшей распространенностью пользуются слабокислые воды (рН 5,0–6,7), на фоне которых локально отмечаются кислые воды (рН 3,3–4,9) на участках повышенной заболоченности, мелких водораздельных пространствах. В водотоках на склонах водораздельных пространств и на участках интенсивного развития озер кислотность вод уменьшается и они становятся нейтральными. В водах озер значение рН значительно повышается до 8,5–9,2 и воды становятся щелочными. Окислительно-восстановительные условия характеризуются значениями Eh от –68 до 347 мВ, при этом величина Eh закономерно уменьшается по мере увеличения рН. В районе исследований наиболее распространены воды со значениями окислительно-восстановительного потенциала 150–200 мВ. Более окислительная среда (Eh выше 200 мВ) в условиях тундрового ландшафта формируется преимущественно в кислых и околонейтральных водах на водораздельных пространствах и верховьях рек, т.е. в условиях активного водообмена. По мере уменьшения интенсивности водообмена на участках застойного режима формируются воды с более восстановительными условиями (Eh ниже 200 мВ). Значительную роль в формировании более восстановительной обстановки вод играют процессы обогащения вод органическими веществами. Хотя биомасса и ежегодная продукция тундровых ландшафтов незначительна и близка по своим масштабам к степям и пустыням, процессы минерализации органического вещества в данных условиях также протекают весьма слабо, что и приводит к формированию в рассматриваемых условиях вод, обогащенных органическим веществом. Высокие содержания органических кислот в растворе повышают агрессивность вод по отношению к вмещающим породам, что, наряду с другими факторами, способствует переходу химических элементов в раствор и во многом определяет формирование химического состава вод.

Химический тип вод междуречья рр. Юньяхи и Ензорьяхи при учете компонентов, доля которых превышает 25%-экв, определяется как гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, кальциево-магниевый. В анионном составе ведущим является гидрокарбонат-ион, содержание которого изменяется от 2,6 до 325 мг/л. Обогащение вод гидрокарбонат-ионом главным образом происходит в результате нейтрализации щелочности, формирующейся в процессе гидролиза алюмосиликатов, продуктами минерализации органических веществ. Реакция нейтрализации в растворе может также происходить и при участии собственно органических кислот, присутствующих в водах в значительном количестве.

В отдельных водопунктах наряду с гидрокарбонат-ионом, определяющим анионный состав вод, повышается роль сульфат-иона, доля которого может достигать 25%-экв. Сульфатно-гидрокарбонатные воды в основном локализируются на участках техногенно-нарушенного ландшафта, где активно протекают процессы окисления сульфидных руд, непосредственно находящаяся в контакте с атмосферой. Хотя доля хлор-иона невелика и составляет в среднем до 1%-экв, присутствие его в водах во многом связано с влиянием морских бассейнов как в настоящее время существующих, так и существовавших предшествующие исторические периоды.

В катионном составе вод преобладают кальций и магний, доля которых составляет в среднем 45 и 42%-экв

соответственно. Доля натрия не превышает 10%-экв, а калия – 1,25%-экв. Отмечается закономерный рост всех указанных катионов с увеличением минерализации вод. Воды междуречья рр. Юньяхи и Ензорьяхи преимущественно ультрапресные с минерализацией от 13 до 200 мг/л, локально на их фоне распространены умеренно пресные воды с минерализацией до 500 мг/л.

Наряду с соевым составом значительную роль в химическом составе вод междуречья рр. Юньяхи и Ензорьяхи играют органические вещества, которые в сумме растворенных в воде солей составляют 2–10%. В составе органического вещества доминируют фульвовые кислоты, среднее содержание которых достигает 7,4 мг/л, при максимальном 20 мг/л, что значительно превышает содержание некоторых катионов и анионов в растворе. Количество гуминовых кислот в среднем невелико и составляет 1,2 мг/л при максимальном 2,65 мг/л, что в целом определяется их низкой растворимостью в водах. Минимальное количество как фульвовых, так и гуминовых кислот отмечается в водах техногенного ландшафта из-за активно развитых в этих водах процессов окисления, приводящих к минерализации органического вещества с образованием исходных минеральных продуктов –  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  [7].

Соподчиненное влияние зональных факторов формирования состава вод определяет близость их химического состава и геохимической обстановки, в которых они формируются и которую они же и определяют. Влияние региональных, а в данном случае локальных факторов анализировалось посредством селективного рассмотрения состава речных, озерных вод и вод деятельного слоя, а также вод техногенного нарушенного ландшафта. Если первые три выборки в большинстве своем характеризуют природную составляющую тундрового ландшафта, то воды техногенно-нарушенного ландшафта связаны с процессами, активизированными хозяйственной деятельностью человека, что нашло отражение в химическом составе этих вод. Все указанные типы вод отличаются по кислотно-щелочным условиям, что также предопределило возможность накопления в них тех или иных компонентов.

Воды деятельного слоя представлены небольшими заболоченностями иногда с открытым зеркалом водной поверхности, а чаще торфяно-растительной подстилкой, сильно насыщенной водой. Воды деятельного слоя имеют цвет «крепкого чая», что, возможно, обусловлено наличием большого количества органических веществ. Одной из основных особенностей формирования химического состава вод деятельного слоя является застойный режим, обусловленный слабым стоком из-за сильной выравненности рельефа. Формирование состава вод деятельного слоя в большой степени связано с сезонными изменениями, т.е. с процессами промерзания и оттаивания вмещающих пород.

Воды деятельного слоя являются в большинстве своем слабокислыми или нейтральными с минерализацией от 13 до 500 мг/л при среднем значении 85 мг/л (таблица). По усредненному показателю воды деятельного слоя близки к речным водам, что, на первый взгляд, является не вполне логичным, хотя и реки, и воды деятельного слоя имеют единые источники питания (оттаивание мерзлоты, атмосферные осадки). При оценке величины минерализации учитывается исключительно солевой состав (минеральная составляющая), но для вод

деятельного слоя значительный вклад вносит органическая составляющая, за счет которой минерализация может увеличиться более чем на 10%.

В условиях вод деятельного слоя складывается весьма благоприятная обстановка для перехода химических элементов в раствор. Воды деятельного слоя имеют возмож-

ность в течение длительного времени взаимодействовать с вмещающими породами, что определяет переход элементов в раствор в весьма значительных количествах, что нашло отражение в повышенных содержаниях целого ряда компонентов Si, Ag, Bi, Cu, Cd, Pb, Be, Sc, Rb, Y, Nb, Te, Cs, Eu, Lu, Hf, Ta, W, Th, V, Ga, Ge, As, I, Ba.

Химический состав подземных и поверхностных вод междуречья рр. Юньяхи и Ензорьяхи

Компонент	Ед. измерения	Предел обнаружения	Содержание				
			Воды деятельного слоя	Реки	Озера	Воды техногенного ландшафта	Кларк речной воды [8]
1	2	3	4	5	6	7	8
pH	Ед.рН	0,1	<u>3,3–8,8</u> 6,0	<u>3,8–8,2</u> 6,9	<u>5,3–9,2</u> 7,3	<u>4,3–8,9</u> 8,3	–
Eh	mV	–	<u>–59–344</u> 185	<u>–68–347</u> 170	<u>47–341</u> 175	<u>15,7–388</u> 162	–
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	6	<u>4,7–325,5</u> 46,8	<u>7,4–293,5</u> 64,8	<u>11,1–193,0</u> 56,6	<u>2,63–330,42</u> 133,63	–
Cl <sup>-</sup>	“	0,1	<u>0,1–5,6</u> 0,40	<u>0,14–4,65</u> 0,38	<u>0,22–0,45</u> 0,30	<u>0,56–6,3</u> 2,92	5,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	“	0,1	<u>0,05–100</u> 0,44	<u>0,05–47</u> 1,77	<u>0,05–56</u> 0,24	<u>0,1–122</u> 12,81	–
Ca	“	0,00005	<u>0,93–85,87</u> 8,60	<u>1,47–66,13</u> 10,99	<u>1,01–28,39</u> 5,41	<u>7,22–92,25</u> 47,76	12
Mg	“	0,000007	<u>0,61–25,89</u> 4,51	<u>0,61–21,66</u> 4,16	<u>0,52–17,11</u> 3,68	<u>0,5–10,98</u> 3,14	2,9
Na	“	0,000003	<u>0,05–42,49</u> 1,89	<u>0,53–19,01</u> 1,97	<u>0,51–13,41</u> 2,02	<u>0,43–15,87</u> 1,76	5,0
K	“	0,00001	<u>0,015–7,47</u> 0,34	<u>0,014–1,20</u> 0,17	<u>0,06–1,24</u> 0,28	<u>0,068–5,69</u> 0,41	2,0
∑солей	“	–	<u>13–500</u> 85	<u>17–385</u> 80	<u>11–193</u> 57	<u>45–438</u> 218	–
Si	“	0,0007	<u>0,04–74,41</u> 3,69	<u>0,17–18,64</u> 2,32	<u>0,12–5,60</u> 0,67	<u>0,11–8,68</u> 1,12	6,0
Fe	“	0,000005	<u>0,044–278,94</u> 1,37	<u>0,024–12,58</u> 0,401	<u>0,087–1,96</u> 0,404	<u>0,054–5,19</u> 0,349	0,04
Al	“	0,000006	<u>0,0007–42,09</u> 0,146	<u>0,007–51,44</u> 0,126	<u>0,013–1,30</u> 0,078	<u>0,0005–2,48</u> 0,0038	0,16
Mn	“	0,000002	<u>0,0006–37,08</u> 0,137	<u>0,058–4,16</u> 0,026	<u>0,005–0,31</u> 0,03	<u>0,028–0,258</u> 0,004	0,01
Li	мкг/л	0,0004	<u>0,13–54,17</u> 2,3	<u>0,07–25,67</u> 1,6	<u>0,14–20,61</u> 2,6	<u>0,06–6,81</u> 0,5	2,5
Be	“	0,003	<u>0,0008–2,72</u> 0,027	<u>0,0016–0,54</u> 0,010	<u>0,002–0,21</u> 0,013	<u>0,0002–0,25</u> 0,004	–
B	“	0,08	<u>0,04–270,81</u> 5,84	<u>1,18–146,72</u> 6,59	<u>1,39–45,57</u> 9,55	–	20
Sc	“	0,03	<u>0,08–28,12</u> 1,85	<u>0,09–10,38</u> 1,19	<u>0,03–2,43</u> 0,41	<u>0,2–4,91</u> 0,78	0,004
Ti	“	0,005	<u>0,17–155,70</u> 2,9	<u>0,21–117,71</u> 1,9	<u>0,40–13,71</u> 2,0	<u>0,17–249,02</u> 60,4	3,0
V	“	0,002	<u>0,0003–17,80</u> 0,29	<u>0,0003–2,28</u> 0,18	<u>0,0003–2,04</u> 0,046	<u>0,001–6,35</u> 0,28	1,0
Cr	“	0,02	<u>0,01–66,96</u> 2,0	<u>0,01–18,96</u> 1,2	<u>0,01–8,09</u> 0,5	<u>0,84–11,64</u> 3,1	1,0
Co	“	0,0002	<u>0,031–363,39</u> 1,45	<u>0,028–23,53</u> 0,209	<u>0,053–1,35</u> 0,195	<u>0,013–1,03</u> 0,078	0,3
Ni	“	0,005	<u>0,0025–219,19</u> 1,3	<u>0,0025–22,42</u> 0,8	<u>0,0025–13,23</u> 2,4	<u>0,52–6,69</u> 1,4	2,5
Cu	“	0,003	<u>0,22–80,04</u> 2,44	<u>0,34–34,69</u> 1,47	<u>0,26–4,66</u> 1,39	<u>0,34–21,48</u> 1,65	7,0
Zn	“	0,003	<u>0,51–410,91</u> 14,55	<u>0,55–205,04</u> 4,77	<u>0,16–326,42</u> 4,61	<u>0,43–51,88</u> 2,54	20,0
Ga	“	0,001	<u>0,00005–0,21</u> 0,0060	<u>0,00005–0,045</u> 0,0028	<u>0,00005–0,066</u> 0,0030	–	0,1
Ge	“	0,001	<u>0,00005–0,042</u> 0,0016	<u>0,00005–0,037</u> 0,0013	<u>0,00005–0,018</u> 0,0007	–	0,07
As	“	0,006	<u>0,11–16,72</u> 0,54	<u>0,007–2,08</u> 0,37	<u>0,12–2,86</u> 0,44	<u>0,23–9,50</u> 1,03	2,0
Se	“	0,04	<u>0,001–13,91</u> 0,50	<u>0,001–11,36</u> 0,45	<u>0,001–9,88</u> 0,35	<u>0,16–7,38</u> 0,80	0,2
Br	“	0,2	<u>0,1–168,80</u> 12,06	<u>0,1–84,47</u> 6,61	<u>0,1–28,97</u> 6,62	<u>0,2–151,53</u> 57,68	20,0

1	2	3	4	5	6	7	8
Rb	“	0,003	<u>0,033–56,12</u> 0,7	<u>0,003–6,08</u> 0,3	<u>0,008–2,40</u> 0,3	<u>0,043–2,86</u> 0,2	2,0
Sr	“	0,0008	<u>3,37–366,88</u> 27,9	<u>6,84–113,93</u> 22,9	<u>3,93–69,84</u> 13,4	<u>12,02–378,32</u> 75,0	50,0
Y	“	0,0009	<u>0,0058–26,90</u> 0,319	<u>0,008–5,02</u> 0,104	<u>0,0063–0,69</u> 0,099	<u>0,001–2,42</u> 0,017	0,7
Zr	“	0,004	<u>0,008–7,02</u> 0,23	<u>0,012–1,13</u> 0,14	<u>0,006–0,62</u> 0,07	<u>0,0065–3,49</u> 0,19	2,6
Nb	“	0,0009	<u>0,0014–0,47</u> 0,011	<u>0,0007–0,081</u> 0,007	<u>0,0005–0,16</u> 0,005	<u>0,0009–0,26</u> 0,005	0,001
Mo	“	0,003	<u>0,001–3,45</u> 0,061	<u>0,001–46,37</u> 0,059	<u>0,001–0,84</u> 0,044	<u>0,027–172,06</u> 1,39	1,0
Ru	“	0,0002	<u>0,0002–0,020</u> 0,00058	<u>0,0001–0,036</u> 0,00046	<u>0,00025–0,00462</u> 0,00036	<u>0,0001–0,0046</u> 0,001	–
Rh	“	0,0005	<u>0,00017–0,028</u> 0,0018	<u>0,0002–0,01</u> 0,0013	<u>0,00025–0,007</u> 0,0011	<u>0,0007–0,014</u> 0,0029	–
Pd	“	0,003	<u>0,0015–39,59</u> 0,52	<u>0,0015–0,027</u> 0,0047	<u>0,0015–0,027</u> 0,0048	<u>0,0015–0,27</u> 0,003	–
Ag	“	0,00005	<u>0,00025–0,576</u> 0,009	<u>0,00025–0,099</u> 0,003	<u>0,00025–0,052</u> 0,002	<u>0,0013–0,11</u> 0,0073	0,2
Cd	“	0,003	<u>0,0015–3,51</u> 0,0491	<u>0,0015–0,37</u> 0,0119	<u>0,0015–0,16</u> 0,0107	<u>0,0013–0,21</u> 0,0052	0,2
Sn	“	0,002	<u>0,00005–0,37</u> 0,011	<u>0,00005–0,14</u> 0,0045	<u>0,00005–0,037</u> 0,0046	<u>0,00073–0,091</u> 0,004	0,04
Sb	“	0,001	<u>0,03–3,19</u> 0,20	<u>0,031–1,62</u> 0,19	<u>0,02–0,52</u> 0,15	<u>0,084–4,70</u> 0,37	1,0
Te	“	0,0008	<u>0,0001–0,17</u> 0,0019	<u>0,0001–0,033</u> 0,0009	<u>0,0004–0,038</u> 0,0011	<u>0,0001–0,048</u> 0,0004	–
I	“	0,008	<u>0,11–13,30</u> 1,84	<u>0,17–11,88</u> 1,06	<u>0,16–7,47</u> 1,23	–	2,0
Cs	“	0,0005	<u>0,00025–0,64</u> 0,007	<u>0,00025–0,36</u> 0,002	<u>0,00025–0,068</u> 0,003	<u>0,00025–0,31</u> 0,00078	0,03
Ba	“	0,0005	<u>0,36–198,51</u> 7,68	<u>1,15–10,13</u> 5,51	<u>0,90–9,72</u> 5,82	<u>1,24–16,31</u> 7,36	30,0
La	“	0,0005	<u>0,0021–34,28</u> 0,222	<u>0,002–5,99</u> 0,059	<u>0,008–0,98</u> 0,087	<u>0,0008–0,82</u> 0,005	0,05
Eu	“	0,0007	<u>0,00035–1,82</u> 0,0197	<u>0,00035–0,43</u> 0,0053	<u>0,00035–0,064</u> 0,0069	<u>0,00035–0,036</u> 0,0016	0,001
Lu	“	0,0005	<u>0,0002–0,47</u> 0,007	<u>0,0002–0,89</u> 0,0024	<u>0,00025–0,013</u> 0,0021	<u>0,0002–0,013</u> 0,0003	0,001
Hf	“	0,0006	<u>0,0003–0,21</u> 0,007	<u>0,0003–0,032</u> 0,004	<u>0,0003–0,022</u> 0,003	<u>0,0003–0,083</u> 0,003	–
Ta	“	0,0002	<u>0,0001–0,023</u> 0,0007	<u>0,0001–0,0084</u> 0,0006	<u>0,0001–0,0051</u> 0,0004	–	–
W	“	0,002	<u>0,001–0,07</u> 0,005	<u>0,001–0,03</u> 0,003	<u>0,001–0,44</u> 0,002	<u>0,0009–66,85</u> 0,014	0,03
Re	“	0,0005	<u>0,00013–0,055</u> 0,00051	<u>0,00025–0,054</u> 0,00048	<u>0,00025–0,0015</u> 0,00033	<u>0,00058–0,21</u> 0,008	–
Ir	“	0,0001	<u>0,00003–0,0013</u> 0,00015	<u>0,00003–0,005</u> 0,000091	<u>0,00005–0,0007</u> 0,000085	<u>0,00003–0,006</u> 0,00041	–
Pt	“	0,0001	<u>0,000075–0,07</u> 0,000253	<u>0,000075–0,02</u> 0,000248	<u>0,0001–0,001</u> 0,000158	<u>0,0004–0,06</u> 0,0054	–
Au	“	0,0001	<u>0,00005–1,5</u> 0,00057	<u>0,00005–0,028</u> 0,00069	<u>0,00005–0,0066</u> 0,00056	<u>0,00084–1,13</u> 0,0039	0,002
Hg	“	0,002	<u>0,0015–0,85</u> 0,0286	<u>0,0015–0,75</u> 0,0224	<u>0,0015–0,26</u> 0,0292	<u>0,002–3,91</u> 0,0194	0,07
Tl	“	0,0003	<u>0,00015–0,21</u> 0,002	<u>0,00015–0,048</u> 0,00067	<u>0,00015–0,0067</u> 0,00073	<u>0,00015–0,019</u> 0,00097	1,0
Pb	“	0,001	<u>0,009–39,59</u> 0,63	<u>0,001–4,30</u> 0,17	<u>0,042–2,19</u> 0,31	<u>0,0015–2,05</u> 0,04	1,0
Bi	“	0,0005	<u>0,00025–0,190</u> 0,0030	<u>0,000015–0,033</u> 0,0010	<u>0,00025–0,011</u> 0,0009	<u>0,000015–0,033</u> 0,0013	–
Th	“	0,0003	<u>0,00015–2,17</u> 0,0507	<u>0,00048–0,22</u> 0,0250	<u>0,0033–0,23</u> 0,0248	<u>0,00015–0,63</u> 0,002	0,1
U	“	0,0001	<u>0,00005–6,39</u> 0,0122	<u>0,00005–2,18</u> 0,0157	<u>0,00057–0,11</u> 0,0121	<u>0,00005–18,06</u> 0,0376	0,5
Число точек			373	231	165	56	

Примечание. В числителе – минимальное и максимальное содержание, в знаменателе – среднее значение; «–» – данные отсутствуют;  $\Sigma_{\text{соед}}$  – минерализация.

Обогащению вод химическими элементами способствует характер геохимической среды. Большое количество органических кислот создает кислую среду в водах,

что также повышает агрессивность вод по отношению к вмещающим породам. Кроме того, наличие органических веществ в растворе способствует формированию

органоминеральных комплексов, являющихся хороши-ми мигрантами, что также способствует накоплению элементов в растворе. Благодаря этому такие компонен-ты, как Mn, Co, Zn, Pd, La, Tl, Sn, Fe, Ir в водах деятель-ного слоя содержатся в концентрациях, значительно превышающих их концентрации в реках и озерах, имеющих более активный гидродинамический режим.

Реки рассматриваемого района в основном принадле-жат бассейну р. Обь. Питание рек осуществляется за счет весенних талых вод, а летом за счет атмосферных осадков и таяния снежников и подземного льда. Уровень паводко-вых вод может достигать 3,5–6 м. Окислительно-восстановительные условия изменяются от –68 до 347 mV, кислотнo-щелочные свойства изменяются от 3,8 до 8,2, а максимальное содержание растворенных солей составляет 319,19 мг/л, при среднем 80 мг/л.

Яркой отличительной особенностью рассмат-риваемого района является наличие большого количества озер. На исследуемой территории насчитывается более 140 озер. Озера располагаются группами, и их размеры весьма разнообразны, зеркало самого крупного озера Западное Сибилето составляет 0,87 км<sup>2</sup>. Остальные озера не такие крупные, площадь зеркала менее 0,25 км<sup>2</sup>. Глубина озер не превышает, за редким исключением, 2–3 м, при этом глубина некоторых не достигает 1 м. Вероятное происхождение озер связано с процессами развития термокарста, но также в качестве возможного рассматривается и ледниковое происхождение. Воды озер являются ультрапресными – максимальная минерализация вод не достигает и 200 мг/л. Геохимическая обстановка озерных вод, характеризующаяся рН от 5,3 до 9,2 при среднем 7,3 и Eh от 47 до 341 mV при среднем значении 175 mV, по усредненным показателям весьма близка к геохимическим условиям речных вод. Во многом именно геохимическая обстановка определяет или контролирует накопление в растворе тех или иных компонентов. Однако при относительной близости усредненных показателей геохимических условий накопления химических элементов в поверхностных водах тундрового ландшафта междуречья рр. Юньяхи и Энзорьяхи существует весьма разительное отличие в наборе компонентов, концентрирующихся в озерных и речных водах. В речных водах складывается благоприятная обстановка для накопления литофильных элементов – Si, Al, Mn, Sc, Cr, Y, Zr, Nb, Hf, Ta, W, U и халькофильных элементов – Au, Zn, Cu, Cd, Sb, V, Se, а также сидерофильных элементов Co, Pt, Mo, Ru, Rh, Ir, Re, Ge. В озерных водах также накапливаются

литофильные элементы Li, Be, B, Ti, Cs, La, Eu, I, Ba и халькофильные – Pb, Rb, Pd, Te, Hg, Tl, As, среди сидерофильных элементов повышенные концентрации имеет только Ni.

Достаточно специфичным является химический состав вод техногенного ландшафта, представленных в основном водами канав и карьеров, которые аккумулируют атмосфер-ные осадки и снеготалые воды. Особенностью условий формирова-ния состава этих вод является застойный режим, активно протекающие процессы окисления, незначительное количество органических веществ. Воды техногенного ландшафта наиболее щелочные, рН изменяется от 4,3 до 8,9 при среднем 8,3, при Eh – от 15,7 до 388 mV при среднем 162 mV, а минерализация вод изменяется от 45 до 437,8 мг/л при среднем значении 218,4 мг/л. По химическому составу воды сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые, магниево-кальциевые. В ионном составе отмечается увеличение со-держаний Cl до 6,3 мг/л и K до 5,69 мг/л, что в значительной степени превышает их содержания в природных водах. В водах техногенного ландшафта отмечаются максимальные содержания Al, Fe, Au, Pt, Ti, Ni, Cr, Sr, Mo, Ru, Rh, Sb, Re, Ir, U относительно всех рассматриваемых вод тундрового ландшафта междуречья рр. Юньяхи и Энзорьяхи.

Особенностью химического состава вод тундрового ландшафта междуречья рр. Юньяхи и Энзорьяхи явля-ется накопление в растворе кремния и таких элемен-тов-гидролизатов, как Fe, Mn, Al, Ni, которые в рас-сматриваемых водах достигают концентраций, значи-тельно превышающих кларк речной воды.

Соподчиненное влияние природно-климатических условий предопределило формирование в рассматри-ваемом районе ультрапресных, слабокислых и около-нейтральных вод, обогащенных органическими веще-ствами. Исследования показали, что несмотря на един-ство химического типа и ультрапресный характер вод междуречья рр. Юньяхи и Энзорьяхи, в них формиру-ется весьма разнообразная геохимическая обстановка, что нашло отражение в микрокомпонентном составе вод. Особенности геохимической обстановки вод спо-собствуют накоплению в растворе Fe, Mn, Al, Ni, Au, Co, Li, Sc, Ti, Cr, Sr, Nb, Mo, Cs, La, Eu, Lu, Hg, Se до уровня, значительно превышающего кларк речной во-ды. В качестве основных механизмов, способствующих накоплению в растворе указанных элементов в весьма высоких концентрациях, выступают процессы взаимо-действия в системе вода–порода и условия геохимиче-ской среды [9], а лимитирующими факторами – про-цессы вторичного минералообразования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хокс Х.Е., Уэбб Дж.С. Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М.: Мир, 1968. 486 с.
2. Тютюнов И.А. Введение в теорию формирования мерзлых пород. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 107 с.
3. Методическое руководство по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений / П.А. Удодов, С.Л. Шварцев, Н.М. Рассказов, В.М. Матусевич, Р.С. Солодовникова. М.: Недра, 1973. 184 с.
4. Левинсон А. Введение в поисковую геохимию. М.: Мир, 1976. 498 с.
5. Макаров В.Н., Винокуров И.П. Геохимические поиски скрытых месторождений в криолитозоне (наложенные криогенные ореолы рассеяния). Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1987. 108 с.
6. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. М.: Наука, 2004. 677 с.
7. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.
8. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В.А. Бугров и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
9. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода: В 5 т.: Т. 2: Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев и др. Новосибирск, 2007. 389 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 6 июня 2009 г.