

УДК 550.46:632.151

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЮЖНО-МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Давыдова Н.Д.

ИГСО РАН «Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН», Иркутск, e-mail: davydova@irigs.irk.ru

В результате многолетних исследований геосистем Южно-Минусинской котловины, на территории которой действуют заводы по производству алюминия, по загрязнению снежного покрова установлена площадь распространения пылегазовых эмиссий, которая составляет 200–250 км², и выявлены основные элементы-загрязнители (F⁻, Na⁺, Al³⁺, Ni²⁺). В условиях фона и в пределах указанной территории изучен химический состав атмосферных осадков (дождь, снег), вод поверхностного и внутрипочвенного стока, рек, озер и подземных вод и проведен сравнительный анализ полученных результатов, который показал увеличение содержания в атмосферных осадках зоны загрязнения F⁻ в 89–493 раза, Al³⁺ в 39–469, Na⁺ в 2–22. В составе дождевой и снеговой воды преимущественное положение заняли F⁻ (22–63% экв.), Al³⁺ (17–54), Na⁺ (27–31). Их химический состав с хлоридно-гидрокарбонатного натриево-кальциевого сменился в зоне оседания пылегазового потока на сульфатно-фторидный алюмо-натриевый. При взаимодействии с почвой состав осадков вновь трансформируется, превращаясь в поверхностные и внутрипочвенные растворы, в которых участие поллютантов снижается вследствие частичного поглощения почвами F⁻ и полного Al³⁺. Напротив, выход в растворы других ингредиентов, таких как HCO₃⁻ и Ca²⁺, увеличился. Повышенное количество F⁻ обнаружено в подземных гидрокарбонатно-натриевых водах верхнего уровня (до 10 м) только вблизи завода. Повышенное количество фтора в озерах обусловлено главным образом природными факторами. Стабильно низкий уровень его содержания (в среднем 0,09 мг/дм³) сохраняется в реке Енисей, находящейся в 5-ти км к югу от источника эмиссий и глубинных водах хозяйственного и питьевого назначения (в среднем 0,30 мг/дм³). Следовательно, наибольшему воздействию подверглась водная составляющая начального звена формирования гидросферы локального уровня. Скорость водной миграции поллютантов осуществляется в последовательности Na⁺ > F⁻ > Al³⁺ > Ni²⁺.

Ключевые слова: химический состав, загрязнение, атмосферные осадки, реки, озера, подземные воды

FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATER OBJECTS OF SOUTHERN MINUSINSK DEPRESSION IN THE CONDITIONS OF ATMOSPHERIC POLLUTION

Davydova N.D.

V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk, e-mail: davydova@irigs.irk.ru

As a result of long-term researches of geosystems of Southern Minusinsk Depression in the territory of which the aluminum production plants on pollution of snow cover work the area of distribution the dust and gas issues which makes 200–250 sq.km is established and the main elements pollutants are revealed (F⁻, Na⁺, Al³⁺, Ni²⁺). In the conditions of a background and within the specified territory the chemical composition of an atmospheric precipitation (a rain, snow) is studied, waters of a superficial and intra soil drain, the rivers, lakes and underground waters and the comparative analysis of the received results which has shown increase in contents in an atmospheric precipitation of a zone of pollution of F⁻ by 89–493 times, Al³⁺ in 39–469, to Na⁺ at 2–22 is carried out. As a part of rain and snow water primary position was reached by F⁻ (22–63% eq.), Al³⁺ (17–54), Na⁺ (27–31). Their chemical composition from chloride-hydrocarbonate sodium-calcium was replaced in a zone of subsidence of a dust and gas stream with sulfate-fluoride aluminium-sodium. At interaction with the soil the structure of rainfall is transformed again, turning into surface and intra soil solutions in which participation of pollutant decreases owing to partial absorption by soils of F⁻ and full Al³⁺. On the contrary exit in solutions of other ingredients, such as HCO₃⁻ and Ca²⁺ has increased. The increased quantity of F⁻ is revealed in underground hydrocarbonate-sodium waters of the top level (to 10 m) only near the plant. Enrichment by fluorine of lakes is caused mainly by natural factors. Steadily low level of his contents (on average 0,09 mg/dm³) remains in the Yenisei River which is in 5 km to the south from a source of issues and deep waters of economic and drinking appointment (on average 0,30 mg/dm³). Therefore, to the greatest influence, the water component of an initial link of formation of the hydrosphere of local level has undergone. Speed of water migration of pollutant is carried out in the sequence of Na⁺ > F⁻ > Al³⁺ > Ni²⁺.

Keywords: chemical composition, pollution, atmospheric precipitation, rivers, lakes, underground waters

Активное воздействие атмосферы на наземные экосистемы и гидросферу проявляется через атмосферные осадки в виде дождя и снега, которые в условиях техногенеза очищают атмосферу, но загрязняют компоненты природной среды. Длительное (30-летнее) воздействие пылегазовых эмиссий предприятий по производству алюми-

ния ОАО «РУСАЛ Саяногорск» производительностью более 800 тыс. т алюминия в год в той или иной мере сказалось на трансформации геохимического фона почвенно-растительного покрова Южно-Минусинской котловины [1, 2]. Существует опасность загрязнения природных вод данной территории фторидами и алюминатами.

Таблица 1

Анионно-катионный состав дождевой воды (мг/дм³) на разном удалении от предприятий по производству алюминия ОАО «РУСАЛ Саяногорск»

n	рН	Анионы				Катионы					Сумма солей
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	
Фон, 60 км к западу											
8	6,61	6,79	1,99	1,53	0,06	1,45	0,24	0,58	2,01	0,04	14,66
*M ₁₅ HCO ₃ 55Cl28SO ₄ 16F1 / Na45Ca37Mg10K7Al1											
0,5 км к юго-востоку											
5	5,68	10,00	2,19	2,35	5,36	3,06	0,55	0,46	3,96	1,57	29,49
*M ₂₉ F51HCO ₃ 29Cl11SO ₄ 9 / Al31Na31Ca27Mg8 K3											
5 км к юго-востоку											
5	5,90	3,37	1,75	0,56	1,00	0,88	0,27	0,33	1,11	0,37	9,64
*M ₁₀ F32HCO ₃ 31Cl30SO ₄ 7 / Na29Ca2725Mg13K5											
7 км к северу											
5	6,10	6,69	1,15	4,26	1,21	2,14	0,57	0,38	1,88	0,47	18,75
M ₁₉ HCO ₃ 37SO ₄ 30F22Cl11 / Na28Ca36Al17Mg16K3											

Примечание. * – формула Курлова, %-ммоль, М – минерализация, г/дм³, n – число повторностей.

Цель исследования – определить химический состав водных объектов зоны загрязнения, установить принципиальные их отличия от состава вод природного фона и выявить миграционную способность поллютантов в системе атмосферные осадки – поверхностный и внутрипочвенный сток – поверхностные и подземные воды.

Материалы и методы исследования

Отбор проб воды разных объектов: атмосферных осадков (дождь, снег), поверхностного и внутрипочвенного стока, рек, озер, грунтовых и глубинных вод проводился в 2006–2016 гг. в соответствии с [3]. Исследования велись как в зоне воздействия пылегазовых эмиссий Саяногорского (САЗ) и Хакасского (ХАЗ) алюминиевых заводов, так и в условиях фона [4]. Всего отобрано 136 проб.

Количественный химический анализ проб воды выполнялся в сертифицированном химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН с использованием приборной базы Байкальского центра коллективного пользования и стандартных методик. Пробы анализировались на анионно-катионный состав [5–9] и содержание 20 химических элементов – Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti, Mn, P, Sr, Ba, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, F, V [10, 11]. Содержание фтора выявлялось методом прямой потенциометрии на иономере «Эксперт-001» с помощью фторселективного электрода ЭЛИС 131F [12]. Статистическая обработка результатов количественного химического анализа проведена при доверительной вероятности интервала значений признака 0,95 и вероятности ошибки 0,05 (5%) [13].

Для оценки изменения уровней содержания отдельных элементов в воде зоны загрязнения применялись коэффициенты концентрации (Kc = Ca/Cф)

и рассеяния (Kг = Cф/Ca), где Ca и Cф соответственно концентрации элемента в объектах зоны загрязнения и фона.

Результаты исследования и их обсуждение

Дождевые воды. В условиях загрязнения изменения в составе атмосферы повлияли на химический состав атмосферных осадков (табл. 1), которые существенно отличаются от осадков фоновой территории [4]. Так, реакция дождевой воды в зоне загрязнения поллютантами слабокислая и составляет вблизи заводов 4,04–6,68 рН, в условиях фона 5,74–7,17 рН. От дождевой воды фона она отличается смещением рН в сторону подкисления, что свидетельствует о присутствии в атмосферном воздухе данной территории газообразных веществ, таких как CO₂, HF, SO₂, которые растворяются в воде. В дождевой воде на расстоянии 0,5 км от заводов по сравнению с дождевой водой фона содержится в два раза больше растворимых солей. Наиболее существенные отличия отмечены в отношении содержания F⁻ и Al³⁺, что следует из приведенного ряда анализируемых показателей (в нижнем индексе Kc): F⁻_{89,3} Al³⁺_{39,3} Mg²⁺_{2,3} Ca²⁺_{2,1} Na⁺_{2,0} SO₄²⁻_{1,5} HCO₃⁻_{1,5}. Среди анионов преимущественное положение, которое оценивалось с помощью формулы Курлова [14], занимают F⁻ (51%), а среди катионов Al³⁺ и Na⁺ (по 31%). В целом химический состав

характеризуется как смешанный гидрокарбонатно-фторидный или хлоридно-гидрокарбонатно-фторидный кальциево-алюмо-натриевый и существенно отличается от состава дождевой воды фона, который оценен как хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый. С удалением от источника эмиссий количество растворимых солей заметно снижается (табл. 1), долевое участие поллютантов в их составе несколько уменьшается.

ландшафтов. В транзитных и конечных звеньях каскадных ландшафтно-геохимических систем растворимые вещества или впитываются в почву, распределяясь в почвенном профиле, или при достаточном количестве атмосферных осадков привносятся в грунтовые воды и аквальные ландшафты.

Почвенные растворы зоны загрязнения. То, что твердое техногенное вещество активно растворяется, проявляется

Таблица 2

Анионно-катионный состав снеговой воды (мг/дм³) на разном удалении от заводов по производству алюминия ОАО «РУСАЛ Саяногорск»

n	pH	Анионы				Катионы					Сумма солей
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	
Фон, 60 км к западу											
6	5,94	4,46	1,63	0,94	0,07	1,44	0,33	0,20	0,81	0,03	9,93
*M ₁₀ HCO ₃ 51Cl32SO ₄ 4F3 / Ca50Na25Mg19K4Al2											
0,5 км к юго-востоку											
4	6,13	22,27	1,99	31,35	34,51	7,07	1,78	1,01	17,69	14,08	131,75
*M ₁₃₂ F63SO ₄ 22HCO ₃ 12Cl2 / Al54Na27K14Ca12Mg5											
2 км к юго-востоку											
5	6,15	13,22	2,00	15,19	16,50	2,97	0,73	1,03	11,67	6,60	69,91
*M ₇₀ F59SO ₄ 22HCO ₃ 15Cl 4 / Al54Na27K14Ca12Mg5											
5 км к юго-востоку											
4	5,90	6,56	2,76	11,12	9,88	3,17	0,70	0,38	6,24	3,95	44,76
*M ₄₅ F55SO ₄ 25HCO ₃ 12Cl 8 / Al46Na29Ca18Mg6K1											

Снеговые воды. По общему содержанию растворимых веществ и отдельных ингредиентов снеговая вода зоны загрязнения очень сильно отличается от фоновой (табл. 2). Она более минерализована: вблизи завода в 13 раз, на расстоянии 5 км – в 4,5 раза. Поэлементные отличия представлены в виде следующего ряда показателей: F⁻ 493,3, Al³⁺ 469,3, SO₄²⁻ 33,4, Na⁺ 21,8, Mg²⁺ 5,4, K⁺ 5,1, HCO₃⁻ 3 5,0, Ca²⁺ 4,9. Ее химический состав хорошо отражен посредством формул Курлова (табл. 2). Если снеговая вода фона имеет состав хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый, то в зоне оседания пылегазового потока она меняется на сульфатно-фторидный натриево-алюмо-вый. С удалением от источника эмиссий до 6 км минерализация снеговой воды уменьшается со 132 до 45 мг/дм³, но химический состав остается практически постоянным.

Растворимая в дождевой и снеговой воде часть техногенного вещества участвует в радиальном и латеральном миграционном потоке, сопряженных элементарных

в повышенном содержании поллютантов (F⁻, N⁺, Al³⁺), как в снеговой воде (табл. 2), так и в почвенных растворах зоны загрязнения (табл. 3), имеющих сходство по содержанию и составу. Ударные дозы снеговой воды более эффективны по влиянию на почвенные растворы по сравнению с дождевой водой. В данном случае анализировались снеговая вода и жидкая фаза почв (лизиметрические воды) долины р. Енисей. Выровненная поверхность позволяет почвам в большем объеме принимать талые воды, нежели почвы склонов. Продвигаясь в слое почвы (40 см) в радиальном направлении химические элементы снеговой воды по-разному взаимодействуют с твердой фазой почв, о чем можно судить по их содержанию в лизиметрических водах (табл. 3). Произошедшие изменения оценены посредством величин Кс. На разном удалении от заводов их величины разнятся. На удалении 0,5 км анионно-катионный ряд имеет вид – HCO₃³⁻ Ca²⁺ 8,1, K⁺ 7,34, Mg²⁺ 6,4, Cl_{3,6} SO₄²⁻ 4 2,4, Na⁺ 1,3, F⁻ 0,7, Al³⁺ 0,2. На уда-

лении 5 км он несколько иной – K^+ , HCO_3^{3-} , $Ca^{2+}_{5,9}$, $Mg^{2+}_{4,8}$, $SO_4^{2-}_{2,4}$, $Na^+_{1,3}$, $F^-_{0,9}$, $Cl^-_{0,5}$, $Al^{3+}_{0,3}$. По сравнению со снеговой водой почвенные растворы существенно обогащаются за счет растворимых веществ черноземов, кроме $F^-_{0,7-0,9}$ и $Al^{3+}_{0,2-0,3}$, которые поглощаются почвой. При этом фтор поглощается до 30%, большая его часть остается подвижной. Алюминий, напротив, на 70–80% поглощается почвой и, следовательно, малоподвижен. При достаточном количестве носителя часть фтора, находящаяся в форме фторид-иона мигрирует в составе других ингредиентов, как в радиальном, так и латеральном направлении. По сравнению со снеговой водой роль поллютантов в химическом составе почвенных растворов заметно снижена.

Воды поверхностного стока. Химический состав вод поверхностного стока (табл. 3) с удалением от источника эмиссий также меняется. На расстоянии 7 км вследствие взаимодействия дождевой воды с почвой образующиеся растворы стока существенно обогащаются за счет почвенных ингредиентов $SO_4^{2-}_{4,30,8}$, $Ca^{2+}_{27,8}$, $HCO_3^-_{19,9}$, $K^+_{15,6}$, $Mg^{2+}_{4,8}$, $Na^+_{3,1}$, $Cl^-_{2,9}$ (внизу индекс Кс), которые имеют в большей степени природное происхождение, накапливаясь на поверхности в условиях сухого климата. При этом содержание фтора и алюминия в паре дождевая вода – вода стока, судя по их величине $Kc = F^-_{1,2} \cdot Al^{3+}_{1,0}$ остается практически без изменения. Водный поток веществ, движущийся по поверхности почвы, характеризуется формулой Курлова как сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый (табл. 3). Участие Al^{3+} , F^- , Na^+ сниже-

но по сравнению с исходной дождевой водой (табл. 1), составляя соответственно 3, 4, 9% от суммы эквивалентов вследствие увеличения доли других ионов.

Грунтовые воды формируются в первом водоносном слое и имеют свободную связь с поверхностью. Они пополняются за счет атмосферных осадков или поверхностных вод (рек, озер, прудов), находясь с ними во взаимосвязи. Грунтовые воды древней долиной р. Енисей, находящейся в сфере распространения пылегазовых эмиссий предприятий ОАО «РУСАЛ Саяногорск», расположены на разных глубинах. Воды, находящиеся ближе к дневной поверхности, отличаются большей минерализацией по сравнению с ниже залегающими слоями (табл. 4). Первые повышенной минерализации характеризуются сульфатно-гидрокарбонатным натриевым или кальциево-натриевым составом. Вторые средней минерализации – гидрокарбонатные кальциево-натриевые. Содержание фтора в грунтовых водах территории, удаленной от заводов ОАО «РУСАЛ Саяногорск», близко к оптимальному уровню (табл. 4). Как правило, это неглубокие колодцы (до 9 м), с концентрацией элемента от 0,67 до 1,3 мг/дм³. Однако в воде гравийного карьера, находящегося вблизи заводов, обнаружено повышенное содержание этого элемента (7–9 мг/дм³), что свидетельствует не только об атмосферном загрязнении, но и предположительно, об утечке технической воды, обогащенной фтором и натрием. Химический состав гидрокарбонатный натриевый с участием фтора.

Таблица 3

Анионно-катионный состав лизиметрических вод и вод поверхностного стока на разном удалении от предприятий по производству алюминия ОАО «РУСАЛ Саяногорск»

n	pH	Анионы				Катионы					Сумма солей
		HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	F^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Al^{3+}	
Вода лизиметров, 5 км от заводов к юго-востоку											
3	6,61	42,40	1,45	26,17	9,91	18,74	3,34	3,30	7,88	1,12	114,21
* $M_{114} HCO_3 43SO_4 31F 24Cl 2 / Ca 52Na 19Mg 15K 3Al 1$											
Вода лизиметров, 7 км от заводов (вершина) к северу											
4	7,44	125,45	10,41	25,63	1,70	48,26	2,28	7,62	1,90	0,12	223,37
* $M_{223} HCO_3 69SO_4 18Cl 10F 3 / Ca 83Mg 7K 7Na 3$											
Вода поверхностного стока, 7 км от заводов (вершина) к северу											
7	7,09	67,25	5,13	17,25	1,19	24,47	2,22	5,16	3,40	0,37	126,44
* $M_{126} HCO_3 66SO_4 21Cl 9F 4 / Ca 69Mg 11Na 9K 8Al 3$											

Таблица 4

Анионно-катионный состав подземных вод (мг/дм³) на разном удалении от предприятий по производству алюминия ОАО «РУСАЛ Саяногорск»

n	pH	Анионы					Катионы					Сумма солей
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	
Грунтовая вода колодцев (4–4,5 м), 12 км на запад												
5	8,14	–	352,31	49,84	110,33	0,81	18,65	10,73	0,89	178,85	0,038	722,45
*M _{0,722} HCO ₃ 61SO ₄ 24 Cl14 / Na81Ca10Mg9												
Грунтовая вода неглубоких скважин (8–9 м), 8–10 км на запад												
9	8,43	3,60	354,95	87,29	225,01	1,16	51,60	24,28	1,745	195,74	0,086	945,46
*M _{0,945} HCO ₃ 44SO ₄ 35Cl9 / Na65Ca20Mg15												
Грунтовая вода гравийного карьера (9 м), 0,5 км на восток												
3	8,64	5,30	500,93	29,85	39,89	8,00	17,46	8,93	2,80	197,90	0,110	805,87
*M _{0,806} HCO ₃ 80SO ₄ 8Cl8F4 / Na84Ca8Mg7Al1												
Грунтовая вода гравийного карьера (18 м), 3 км на северо-запад												
4	8,18	–	196,27	9,59	21,47	1,10	20,87	16,56	1,41	35,09	0,053	302,33
*M _{0,302} HCO ₃ 81SO ₄ 11Cl8 / Na65Ca20Mg15												
Глубинная вода скважин (> 20 м), 5 км к югу												
13	7,63	–	267,85	37,88	36,13	0,30	65,08	18,5	3,14	26,13	0,110	455,12
*M _{0,2455} HCO ₃ 70Cl17SO ₄ 13 / Ca54Mg25Na19												

Подземные воды, вскрытые скважинами в районе села Енисейка, которое расположено в 5 км к югу от источника эмиссий, средне минерализованные, гидрокарбонатные магниево-кальциевые, среднежесткие (4, 77 ммоль/дм³). По содержанию основных ингредиентов они близки (табл. 4) к обобщенным сведениям химического состава водоносных четвертичных отложений территории Хакасии (pH 7,73 у.е.; HCO₃⁻ 254 мг/дм³; Cl⁻ 65,9; SO₄²⁻ 99,1; Ca²⁺ 56,6; Mg²⁺ 23,8; общ. Ж 4,79) [15] и характеризуются стабильно низким содержанием фтора (0,23–0,38 мг/дм³).

Заключение

Анализ количественных характеристик водного потока степных ландшафтов территории, прилегающей к заводам по производству алюминия ОАО «РУСАЛ Саяногорск», показал неравнозначное влияние пылегазовых эмиссий на объекты и элементы гидросферы локального уровня (до 5–7 км). Наибольшему воздействию, судя по увеличенному содержанию F⁻, подверглась водная составляющая начального звена формирования гидросферы в последовательности: атмосферные осадки (дождевая, снеговая воды) – внутрпочвенные растворы (лизиметрические воды) – грунтовые воды вблизи заводов. Повышенное

количество фтора в озерах обусловлено главным образом природными факторами, так как они находятся на периферии зоны загрязнения и по содержанию элемента практически не отличаются от более удаленных озер. Стабильно низкий уровень содержания элемента сохраняется в реке Енисей, находящейся в 5 км к югу от источника эмиссий. Для ее загрязнения потребовался бы более высокий уровень концентрации поллютанта в грунтовых водах в непосредственной близости к реке, что в настоящее время не прослеживается. Алюминий и никель (до 60 мкг/дм³), поступающие с атмосферными осадками, аккумулируются главным образом в почве, вследствие низкой миграционной способности в условиях нейтральной и щелочной среды.

Список литературы

1. Давыдова Н.Д. Транслокация техногенного фтора в растениях степей юга Минусинской котловины / Н.Д. Давыдова // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 8. – С. 173–177.
2. Давыдова Н.Д. Знаменская Т.И., Лопаткин Д.А. Ландшафтно-геохимический подход в решении проблем загрязнения природной среды / Н.Д. Давыдова, Т.И. Знаменская, Д.А. Лопаткин // Сиб. экол. журн. – 2014. – Т. 21, № 3. – С. 449–458.
3. РД 52.24.353-2012. Отбор проб вод суши и очищенных сточных вод. – Ростов-н/Д.: Росгидромет. URL: http://snipov.net/database/c_4294944184_doc_4293792809.html (дата обращения: 07.12.2017).

4. Давыдова Н.Д. Химический состав водных объектов фона Южно-Минусинской котловины / Н.Д. Давыдова // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 8. – С. 64–69.

5. РД 52.24.405-2005. Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений турбидиметрическим методом. – Ростов-н/Д.: Росгидромет. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850642.htm> (дата обращения: 07.12.2017).

6. РД 52.24.407-2006. Массовая концентрация хлоридов в водах. Методика выполнения измерений аргентометрическим методом. – Ростов-н/Д.: Росгидромет. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837365.htm> (дата обращения: 07.12.2017).

7. РД 52.24.493-2006. Методика выполнения измерений массовой концентрации гидрокарбонатов в поверхностных водах суши титрометрическим методом. – Ростов-н/Д.: Росгидромет, 2006. – 12 с. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837295.htm> (дата обращения: 07.12.2017).

8. ПНДФ 1:2:3. – 98-2016. Методика выполнения измерений жесткости в пробах природных и очищенных сточных вод титрометрическим методом. – М.: Госком. РФ по охране окр. среды, 2016. – 15 с.

9. РД 52.24.495-2005. Методика выполнения измерений pH и удельной электропроводности вод. – Ростов-н/Д.: Росгидромет. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850855.htm> (дата обращения: 07.12.2017).

10. ПНДФ 14.1:2:4.135-2008. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. – М.: Госком. РФ по охране окр. среды, 2008. – 24 с.

11. РД 52.24.377-2008. Методика выполнения измерений массовой концентрации металлов (Al, Ag, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) в поверхностных водах суши методом атомной абсорбции с прямой электротермической атомизацией проб. – Ростов-н/Д.: Росгидромет, 2008. – 23 с.

12. РД 52.24.360-2008. Массовая концентрация фторидов в водах. Методика выполнения измерений потенциометрическим методом с ионселективным электродом. – Ростов-н/Д.: Росгидромет, 2008. – 21 с.

13. Губин В.И., Осташков В.Н. Статистические методы обработки экспериментальных данных. Учебное пособие для студентов технических вузов / В.И. Губин, В.Н. Осташков. – Тюмень: Изд-во «Тюм. ГНГУ», 2007. – 202 с.

14. Алекин О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 442 с.

15. Дутова Е.М., Покровский В.П., Покровский В.Д. Геохимические особенности подземных вод хозяйственно-питьевого назначения республики Хакасия / Е.М. Дутова, В.П. Покровский, В.Д. Покровский // Вестн. Томского гос. ун-та. – 2015. – № 394. – С. 239–249.

References

1. Davydova N.D. Translokacija tehnogenogo flora v rastenija stepej juga Minusinskoj kotloviny / N.D. Davydova // Uspеhi sovremennogo estestvoznaniya. 2016. no. 8. pp. 173–177.

2. Davydova N.D. Znamenskaja T.I., Lopatkin D.A. Landshaftno-geohimicheskij podhod v reshenii problem zagryaznenija

prirodnoj srede / N.D. Davydova, T.I. Znamenskaja, D.A. Lopatkin // Sib. jekol. zhurn. 2014. T. 21, no. 3. pp. 449–458.

3. RD 52.24.353-2012. Otkor prob vod sushi i ochishhennyh stochnyh vod. Rostov-n/D.: Rosgidromet. URL: http://snipov.net/database/c_4294944184_doc_4293792809.html (data obrashhenija: 07.12.2017).

4. Davydova N.D. Himicheskij sostav vodnyh obektov fona Juzhno-Minusinskoj kotloviny / N.D. Davydova // Uspеhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. no. 8. pp. 64–69.

5. RD 52.24.405-2005. Massovaja koncentracija sulfatov v vodah. Metodika vypolnenija izmerenij turbidimetricheskim metodom. Rostov-n/D.: Rosgidromet. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850642.htm> (data obrashhenija: 07.12.2017).

6. RD 52.24.407-2006. Massovaja koncentracija hloridov v vodah. Metodika vypolnenija izmerenij argentometricheskim metodom. Rostov-n/D.: Rosgidromet. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837365.htm> (data obrashhenija: 07.12.2017).

7. RD 52.24.493-2006. Metodika vypolnenija izmerenij massovoj koncentracii gidrokarbonatov v poverhnostnyh vodah sushi titrometricheskim metodom. Rostov-n/D.: Rosgidromet., 2006. 12 p. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837295.htm> (data obrashhenija: 07.12.2017).

8. PNDF 1:2:3. 98-2016. Metodika vypolnenija izmerenij zhestkosti v probah prirodnyh i ochishhennyh stochnyh vod titrometricheskim metodom. M.: Goskom. RF po ohrane okr. srede, 2016. 15 p.

9. RD 52.24.495-2005. Metodika vypolnenija izmerenij rN i udelnoj jelektroprovodnosti vod. Rostov-n/D.: Rosgidromet. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850855.htm> (data obrashhenija: 07.12.2017).

10. PNDF 14.1:2:4.135-2008. Metodika vypolnenija izmerenij massovoj koncentracii jelementov v probah pitevoj, prirodnyh, stochnyh vod i atmosferynyh osadkov atomno-jemissionnoj spektrometrii s induktivno-svjazannoj plazмой. M.: Goskom. RF po ohrane okr. srede, 2008. 24 p.

11. RD 52.24.377-2008. Metodika vypolnenija izmerenij massovoj koncentracii metallov (Al, Ag, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn) v poverhnostnyh vodah sushi metodom atomnoj absorbcii s prjamoj jelektrotermicheskoj atomizaciej prob. Rostov-n/D.: Rosgidromet, 2008. 23 p.

12. RD 52.24.360-2008. Massovaja koncentracija ftoridov v vodah. Metodika vypolnenija izmerenij potenciometricheskim metodom s ionselektivnym jelektrodom. Rostov-n/D.: Rosgidromet, 2008. 21 p.

13. Gubin V.I., Ostashkov V.N. Statisticheskie metody obrabotki jeksperimentalnyh dannyh. Uchebnoe posobie dlja studentov tehnikeskikh vuzov / V.I. Gubin, V.N. Ostashkov. Tjumen: Izd-vo «Tjum. GNGU», 2007. 202 p.

14. Alekin O.A. Osnovy gidrohimii / O.A. Alekin. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p.

15. Dutova E.M., Pokrovskij V.P., Pokrovskij V.D. Geohimicheskie osobennosti podzemnyh vod hozjajstvenno-pitevogo naznachenija respubliky Hakasija / E.M. Dutova, V.P. Pokrovskij, V.D. Pokrovskij // Vestn. Tomskogo gos. un-ta. 2015. no. 394. pp. 239–249.