

УДК 911.2:556.5

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ФОНА ЮЖНО-МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

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

В связи со строительством заводов по производству алюминия ОАО «РУСАЛ» на юге Минусинской котловины (Хакасия) возникло опасение относительно влияния загрязнения атмосферы на водные объекты этой территории. Представленный в работе материал дает представление о природном химическом составе воды атмосферных осадков, рек, озер, грунтовых и глубинных вод, который необходим для использования его в качестве эталона сравнения. Установлено, что изменения химического состава связаны, прежде всего, с природными особенностями территории. При движении от гор к предгорью минерализация воды рек постепенно возрастает с 88 до 108 мг/дм³. Повышение минерализации происходит за счет практически всех ингредиентов, в том числе появления нормальных карбонатов. Содержание F⁻ и Al³⁺ также закономерно повышается, оставаясь в пределах нормы. Общий состав воды – гидрокарбонатный магниевый-кальциевый. Минерализация воды в озерах меняется от пресных менее 0,8 до рассолов 150 г/дм³. Соответственно изменяется и анионно-катионный состав – от гидрокарбонатного кальциевого (пресные озера) до хлоридного натриевого (рассолы). Содержание фтора увеличивается соответственно от 1,3 до 4,6 мг/дм³. Глубинные воды среднеминерализованные, гидрокарбонатные магниевый-кальциевые, среднежесткие (4,77 ммоль/дм³), отличаются стабильно низким содержанием F⁻ (0,20–0,23 мг/дм³).

Ключевые слова: химический состав, реки, озера, подземные воды, котловина, горное обрамление

WATER OBJECTS CHEMICAL COMPOSITION OF THE BACKGROUND IN SOUTHERN MINUSINSK DEPRESSION

Davydova N.D.*IG SB RAS «V.B. Sochava Institute of geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science», Irkutsk, e-mail: davydova@irigs.irk*

In connection with construction of the plants on aluminum production of JSC «RUSAL» in the south of Minusinsk Depression (Khakassia) there was fear concerning influence of pollution of the atmosphere on water objects of this territory. The material presented in work gives an idea of the natural chemical composition of an atmospheric precipitation water, the rivers, lakes, ground and deep waters which is necessary for his use as a comparison standard. It is established that changes of the chemical composition are connected, first of all, with natural features of the territory. At the movement from mountains to the foothills the mineralization of water of the rivers gradually increases from 88 up to 108 mg/dm³. Increase in a mineralization happens at the expense of almost all ingredients, including emergence of normal carbonates. The maintenance of F⁻ and Al³⁺ also naturally increases, remaining within norm. The general composition of water is hydrocarbonate magnesium-calcium. The water mineralization in lakes changes from fresh less than 0,8 to brines of 150 g/dm³. Respectively also the anionic-cationic structure from hydrocarbonate calcic (fresh lakes) to chloride sodium changes (brines). Content of fluorine increases respectively from 1,3 to 4,6 mg/dm³. The deep waters so-so mineralized hydrocarbonate magnesium-calcium, so-so rigid (4,77 mmol/dm³), differ in steadily low maintenance of F⁻ (0,20–0,23 mg/dm³).

Keywords: chemical composition, rivers, lakes, underground waters, hollow, mountain frame

Химический состав поверхностных и подземных вод суши в значительной мере зависит от состояния атмосферы. 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. Избыточное поступление поллютантов, в том числе фтора, в геосистемы происходит в основном за счет внесения удобрений, сточных вод и атмосферных выпадений от промышленных предприятий. Строительство заводов по производству алюминия ОАО «РУСАЛ» на юге Минусинской котловины вызывает опасение относительно

загрязнения водных объектов территории, прежде всего фторидами и алюминатами.

Цель исследования – установить уровни содержания химических элементов в водных объектах юга Минусинской котловины и ее горного обрамления, находящихся вне сферы влияния предприятий ОАО «РУСАЛ».

Материалы и методы исследования

Объект исследования – воды рек и озер (табл. 1), а также атмосферные осадки, грунтовые и глубинные воды территории юга Минусинской котловины.

Отбор проб воды проводился (2009–2015 гг.) в межень выше населенных пунктов по течению рек в соответствии с [1]. Всего отобрано и проанализировано 98 образцов.

Таблица 1

Список исследуемых рек и озер

Реки				Озера	
№		№		№	
1	Голубая (с. Голубая)	9	Орловка (с. Белозеровка)	1	Красное
2	Енисей (ниже Шушенской ГЭС)	10	Шунерчик (с. Шунеры)	2	Поповское
3	Сизая (с. Сизая)	11	Шушь (п. Шушенское)	3	Чалпан
4	Приток р. Малая Шушь	12	Бея. (п. Бея)	4	Бугасво
5	Малая Шушь (п. Ленск)	13	Енисей (с. Монастырка)	5	Черное (с. Дмитриевка)
6	Малая Шушь (п. Майский)	14	Калы (с. Калы)	6	Черное (с. Сабинка)
7	Средняя Шушь (с. Ср. Шушь)	15	Сабинка (с. Сабинка)	7	Новотроицкое
8	Алтан (с. Ильичево)			8	Трехозерки

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 (РД и ПНДФ). Пробы анализировались на анионно-катионный состав 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. Содержание фтора выявлялось методом прямой потенциометрии на иономере «Эксперт-001» с помощью фторселективного электрода ЭЛИС 131F.

Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав поверхностных вод в значительной степени формируется в соответствии с зональными изменениями климата, почв, растительности. Воды аридной зоны в целом более минерализованы, чем воды гумидных зон. Изменения заметны также и при переходе от ландшафтов горной тайги к лесостепным и степным ландшафтам.

Атмосферные осадки (дождевая вода). В условиях степей юга Минусинской котловины атмосферные осадки мало минерализованы (4,47–26,96 мг/дм³). В среднем это составляет 15 мг/дм³. По данному показателю они очень близки к атмосферным осадкам центральных районов европейской части России с минерализацией 16,9 мг/дм³. Однако химический состав их различен. Если в дождевой воде европейской части территории России преобладают ионы SO₄²⁺ и Ca²⁺ (состав сульфатный кальциевый), то на исследуемой территории среди анионов преобладают HCO³⁻,

Cl⁻, а среди катионов – Na⁺, Ca²⁺ (состав хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый). Указанные различия можно объяснить субаридным климатом степей и присутствием засоленных почв, подверженных дефляции. Это находит отражение также в реакции дождевой воды (рН), которая меняется от 5,74 до 7,17. Средние содержания фтора 0,06 (0,01–0,11), алюминия 0,04 (0,01–0,08) мг/дм³.

Реки. Основное питание поверхностных водотоков исследуемой территории, которые представлены небольшой частью р. Енисей, берущей начало глубоко в горах Западного Саяна, и его притоками, преимущественно снеговое [2], поэтому воды рек в пределах горной тайги имеют малую минерализацию (до 100 мг/дм³) и классифицируются как ультрапресные. Содержание F – составляет 0,07–0,12 мг/дм³, Al³⁺ – 0,041–0,045. Вследствие того, что горные массивы Западного Саяна часто включают основные породы, дренирующие их реки имеют слабощелочную реакцию, среди катионов преобладают Ca²⁺ и Mg²⁺ (табл. 2). Согласно классификации [3, 4], они отнесены к гидрокарбонатному классу, группе кальция и магния.

При движении от гор к предгорью минерализация воды рек постепенно возрастает с 88 до 108 мг/дм³, но особенно это заметно в лесостепной и степной части Южно-Минусинской котловины (M = 252–322 мг/дм³). По этому показателю они классифицируются как умеренно пресные (0,2–0,5 г/дм³). Повышение минерализации происходит за счет практически всех ингредиентов, в том числе появления нормальных карбонатов. Содержание F⁻ и Al³⁺ также закономерно повышается, но остается в пределах нормы для вод питьевого

и хозяйственного назначения [5]. Однако содержание Al^{3+} , которое составляет 0,08–0,12 мг/дм³, превышает в 2–3 раза ПДК (0,04 мг/дм³), установленную для воды объектов, имеющих рыбохозяйственное значение [6]. Жесткость воды меняется от очень мягкой в горах до умеренно жесткой в степной части. Соответственно, в их анионном составе доминируют ионы HCO_3^- и CO_3^{2-} , а в катионном – Ca^{2+} и Mg^{2+} . Общий состав (табл. 2) – гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, представленный в виде формулы Курлова.

Интересно то, что на фоне такой трансформации катионно-анионного состава воды притоков р. Енисей состав воды самой реки («Большая вода») мало меняется вплоть до нижнего бьефа Крас-

ноярской гидроэлектростанции, где минерализация воды в среднем составляет $84,7 \pm 1,4$ мг/дм³ при диапазоне концентраций 59,4–117,0 мг/дм³ [7]. Химический состав – гидрокарбонатный кальциевый, реакция среды характеризуется как слабощелочная и нейтральная (pH = 6,98–8,40), жесткость соответствует категории «мягкая», что близко к данным табл. 2. Содержание фтора практически не изменилось (0,081–0,099 мг/дм³) в нижнем бьефе Енисея и в его воде на территории Южно-Минусинской котловины и ее горном обрамлении (табл. 2). Здесь же нами обнаружены очень низкие концентрации микроэлементов и железа (мкг/дм³): Sr – 65–74, Ba – 6–13, Fe – 5–16, Cu – 1–5, Zn – 1–3.

Таблица 2

Анионно-катионный состав воды рек (мг/дм³)

Реки*, № п/п	pH	Анионы					Катионы					Минерализация
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	
I. Река Енисей и ее притоки в пределах горной тайги 800–1000 м у.м.												
1	8,14	–**	67,77	2,77	0,07	0,07	17,2	3,73	0,39	0,24	0,045	92,93
2	8,14	–	69,79	1,53	0,07	0,12	16,8	3,72	0,38	0,51	0,041	77,0
3	8,02	–	58,89	0,42	0,06	0,11	12,8	3,83	0,40	0,46	0,044	92,33
Среднее	8,10	–	65,48	1,57	0,07	0,10	15,6	3,76	0,39	0,41	0,043	87,52
*M _{0,088} ** HCO ₃ 91Cl5 / Ca70Mg24												
II. Притоки р. Енисей низкогорного предгорья 600–800 м у.м.												
4	8,17	–	84,18	3,5	0,07	0,34	22,4	3,601	1,564	0,37	0,060	116,09
5	8,18	–	86,00	4,34	0,07	0,14	22,82	3,766	1,955	0,842	0,059	119,99
6	7,79	–	84,41	4,90	0,06	0,18	22,45	3,915	2,346	0,448	0,057	118,77
7	8,1	–	59,02	2,11	0,06	0,12	11,92	4,733	0,391	0,803	0,028	79,19
Среднее	8,19	–	78,4	3,71	0,07	0,19	19,9	4,01	1,564	0,616	0,051	108,51
*M _{0,109} HCO ₃ 91Cl8 / Ca72Mg24												
III. Притоки правобережья р. Енисей предгорной равнины (лесостепь) 300–500 м у.м.												
8	9,05	8,4	233,23	5,18	0,29	0,56	31,99	25,94	0,78	9,66	0,077	316,11
9	9,71	14,4	300,15	10,08	0,13	0,39	48,17	30,49	1,96	15,87	0,123	421,76
10	9,13	6,6	210,40	8,61	0,25	0,38	43,14	15,92	1,56	9,20	0,112	296,17
11	8,55	–	189,56	5,18	0,09	0,17	43,60	11,91	0,78	1,40	0,049	252,74
Среднее	9,36	7,35	233,3	7,26	0,19	0,38	41,73	21,07	1,27	9,03	0,09	321,71
*M _{0,322} ** HCO ₃ 95Cl15 / Ca49Mg41Na9												
IV. Река Енисей и притоки ее левобережья степной равнины 300–450 м у.м.												
12	8,96	2,80	212,19	21,39	21,79	0,19	57,89	14,09	0,941	7,55	0,114	339,45
13	7,33		61,92	2,57	4,87	0,09	17,59	2,94	0,58	2,51	0,031	93,11
14	8,29	3,00	219,67	4,679	19,2	0,21	55,91	12,45	0,94	10,66	0,078	326,51
15	8,14		154,29	12,24	22,57	0,23	41,05	11,25	0,99	7,25	0,157	250,04
Среднее	8,18		162,02	10,22	17,11	0,18	43,11	10,18	0,86	6,99	0,095	252,28
*M _{0,252} ** HCO ₃ 78SO ₄ 12Cl9 / Ca62Mg26Na11												

Примечание: * формула Курлова, ** – не обнаружено.

Озера. Происхождение озер связано с тектоническими процессами, а также с карстовыми явлениями в отложениях ямкинской свиты. Для них характерна небольшая глубина и сочетание атмосферного и подземного питания. Наиболее мелководное из них озеро Трехозерки, которое сильно разливается весной, а летом усыхает и делится на несколько более мелких озерков.

Минерализация воды в озерах меняется от пресных менее 0,8 до рассолов 150 г/дм³. Соответственно изменяется и анионно-катионный состав – от гидрокарбонатного кальциевого до хлоридного натриевого (табл. 3). Формирование солевого состава озер в большой мере обусловлено природно-климатическими факторами, когда в условиях степей главная роль отводится испарительной концентрации и осадка солей осуществляется в зависимости от их растворимости. Немаловажное значение при этом имеет подпитка озер подземными водами, их солевым составом и глубина озер, что влияет на разбавление растворов. При испарении концентрация химических элементов в воде повышается, и в первую очередь в осадок выпадают наименее растворимые соли – карбонат кальция и магния (CaCO₃, MgCO₃), оставаясь в незначительном количестве в растворе, далее осаждаются сульфаты – гипс (CaSO₄·2H₂O). В растворе остаются хлориды Na⁺, K⁺, Mg²⁺,

соли которых при определенных условиях концентрации также могут осаждаться. Галогенез в континентальных озерах детально рассматривается в [8].

Наибольшее содержание F⁻ обнаружено в солоноватых озерах, которое в отдельные годы (в зависимости от засушливости сезона) может достигать 4,6 мг/дм³ (оз. Новотроицкое). Главной причиной повышенного содержания элемента в минерализованных озерах является щелочная, гидрокарбонатная среда, которая способствует миграции его из водовмещающих пород и удерживанию в подвижной ионной форме. Воды характеризуются щелочной средой и высоким содержанием натрия, относительно низким – кальция. В таких водах количество фтора увеличивается с ростом их минерализации [9]. Еще более высокий уровень концентрации F⁻ отмечен в относительно стабильных и периодически высыхающих озерах Юго-Восточного Забайкалья. Так, в озере Хара-Нур (степи Даурии) содержится 10 мг/дм³ фтора, Зун-Торей – 10,2, Норин-Булик – 4,3.

Уровень концентрации Al³⁺ в озерах невысокий, меняется в пределах от 0,05 до 0,135 мг/дм³ (при ПДК – 0,5 мг/дм³), и лишь в рассоле озера Трехозерки он повышен и составляет 1,79 мг/дм³. Озера Юго-Восточного Забайкалья менее различаются между собой по данному показателю (0,11–0,13 мг/дм³).

Таблица 3

Анионно-катионный состав воды озер (мг/дм³)

Озера*, № п/п	рН	Анионы					Катионы					Минерализация
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	
I. Пресные												
1	7,90	–	113,45	13,85	15,84	0,40	16,02	4,54	1,96	31,51	0,050	197,62
2	7,34	–	250,18	17,73	22,08	0,40	52,31	15,16	5,63	23,55	0,096	387,14
3	8,57	4,8	273,37	58,14	230,4	0,70	41,62	31,02	2,15	146,60	0,135	788,94
Среднее	7,94	1,6	212,33	29,91	89,44	0,50	36,65	16,91	3,25	67,22	0,094	457,90
*M _{0,458} ** HCO ₃ 57 SO ₄ 30 / Na47Ca29Mg23												
II. Солоноватые												
4	9,65	587,00	2371,65	3465,11	2847,88	2,28	10,42	186,02	12,50	4392,32	0,061	13875,24
5	9,28	96,00	602,71	579,95	853,28	2,38	60,14	85,69	7,43	846,77	0,072	3134,42
6	8,67	36,48	488,17	462,91	295,19	1,30	26,12	40,92	5,84	526,77	0,081	1883,78
7	9,06	130,00	800,25	521,14	548,16	4,60	32,25	32,82	11,04	844,20	0,108	2923,87
Среднее	9,17	212,37	1065,70	1257,28	1136,13	2,47	32,23	86,36	9,20	1652,52	0,081	5454,33
M _{3,455} ** Cl 42HCO ₃ 29SO ₄ 28 / Na89												
III. Рассолы												
8	7,73	540	5978	82360	7500	0,092	390	14940	243	30747,99	1,79	142699,26
*M _{142,699} ** Cl 89SO ₄ 6 / Na52Mg47												

Таблица 4

Анионно-катионный состав подземных вод (мг/дм³)

№ п/п	pH	Анионы					Катионы					Минерализация
		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), n = 5												
1	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 Cl 14 F0,45 / Na81Ca10Mg9												
Грунтовая вода неглубоких скважин (8–9 м), n = 9												
2	8,05	3,6	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 35 Cl 19 F0,5 / Na65Ca20Mg15												
Грунтовая вода гравийного карьера (18 м), n = 3												
3	8,58	–	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 11 Cl 8F1 / Na65Ca20Mg15Al 0,25												
Глубинная вода скважин (> 20 м), n = 13												
5	7,63	–	267,85	37,88	36,13	0,30	65,08	18,5	3,14	26,13	0,11	455,12
*M _{0,455} ** HCO ₃ 70 Cl 18 SO ₄ 13 F0,3 / Ca54Mg25 Na19 Al 0,2												

Подземные воды. Подземными являются воды, находящиеся в земной толще ниже поверхности земли. Подземная гидросфера связана с поверхностной вследствие водообмена в течение всей геологической истории Земли. Выделяется два основных типа подземных вод: грунтовые и напорные.

Грунтовые воды формируются в первом водоносном слое и имеют свободную связь с поверхностью, поэтому в них отсутствует напор, а уровень воды находится там, на какой глубине они вскрыты. Грунтовые воды пополняются за счет атмосферных осадков или поверхностных вод (рек, озер, прудов) находясь с ними во взаимосвязи.

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.

Подземные воды исследовались в скважинах питьевого и хозяйственного использования с. Новоеисейка, расположенного на левом берегу, круто обрывающемся к руслу р. Енисей. Водоносные горизонты представлены аллювиальными отложениями четвертичного периода, которые для всех крупных рек являются основным источником водоснабжения городов Абакана, Черногорска, Саяногорска и ряда других, более мелких, населенных пунктов [10]. Подземные воды, вскрытые скважинами в с. Енисейка, среднеминерализованные,

гидрокарбонатные магниево-кальциевые, среднежесткие (4, 77 ммоль/дм³). По содержанию основных ингредиентов исследуемые воды (табл. 4) близки к обобщенным сведениям химического состава водоносных четвертичных отложений территории Хакасии (pH 7,73 у.е.; HCO₃ 254 мг/дм³; Cl 65,9; SO₄ 99,1; Ca 56,6; Mg 23 при бщ. Ж 4,79 ммоль/дм³) [10].

Заключение

Установлено, что изменения химического состава водных объектов связаны, прежде всего, с природными особенностями территории. При движении от гор к предгорью минерализация воды рек постепенно возрастает. Содержание F⁻ и Al³⁺ также закономерно повышается, оставаясь в пределах нормы. Общий состав воды – гидрокарбонатный магниево-кальциевый. Минерализация воды в озерах меняется от пресных до рассолов. Соответственно изменяется и анионно-катионный состав от гидрокарбонатного кальциевого (пресные озера) до хлоридного натриевого (рассолы). Содержание фтора увеличивается соответственно от 1,3 до 4,6 мг/дм³. Глубинные воды средне минерализованные, гидрокарбонатные магниево-кальциевые, средне жесткие (4,77 ммоль/дм³), отличаются стабильно низким содержанием F⁻ (0,20–0,23 мг/дм³).

Содержание фтора в грунтовых водах территории удаленной от заводов ОАО «РУСАЛ Саяногорск» близко к оптимальному уровню. Как правило, это неглубокие колодцы и скважины (до 9 м), с концентрацией элемента от 0,67 до 1,3 мг/дм³.

Список литературы

1. РД 52.24.353-94. Отбор проб вод суши и очищенных сточных вод. – 14 с.
2. Антипов А.Н., Короткий Л.М. Географические аспекты гидрологических исследований (на примере речных систем Южно-Минусинской котловины). – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. – 177 с.
3. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 442 с.
4. Никаноров А.М. Гидрохимия. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 351 с.
5. ГН 2.1.5.689-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового использования.
6. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». – М., 2010. – 214 с.
7. Пономарева Ю.А. Химический состав и структура фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 7. – С. 183–188.
8. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
9. Крайнов С.Р., Петрова Н.Г. Фтороносные подземные воды, их геохимические особенности и влияние на биогеохимические процессы // Геохимия. – 1976. – № 10. – С. 15–33.
10. Дутова Е.М., Покровский В.П., Покровский В.Д. Геохимические особенности подземных вод хозяйственно-питьевого назначения республики Хакасия // Вестн. Томского гос. ун-та. – 2015. – № 394. – С. 239–249.

References

1. RD 52.24.353-94. Otbor prob vod sushi i ochishhennyh stochnyh vod. 14 p.
2. Antipov A.N., Korytnyj L.M. Geograficheskie aspekty gidrologicheskikh issledovanij (na primere rechnyh sistem Juzhno-Minusinskoj kotloviny). Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1981. 177 p.
3. Alekin O.A. Osnovy gidrohimii. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p.
4. Nikanorov A.M. Gidrohimiya. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 351 p.
5. GN 2.1.5.689-98. Predelno dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshhestv v vode vodnyh obektov hozjajstvenno-pitevogo i kulturno-bytovogo ispolzovanija.
6. Prikaz Federalnogo agentstva po rybolovstvu ot 18.01.2010 no. 20 «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnyh ob#ektov rybohozajstvennogo znachenija, v tom chisle normativov predelno dopustimyh koncentracij vrednyh veshhestv v vodah vodnyh obektov rybohozajstvennogo znachenija». M., 2010. 214 p.
7. Ponomareva Ju.A. Himicheskij sostav i struktura fitoplanktona v nizhnem befe Krasnojarskoj GJeS // Vestn. KrasGAU. 2013. no. 7. pp. 183–188.
8. Glazovskaja M.A. Geohimija prirodnyh i tehnogennyh landshaftov. M.: Vyssh. shk., 1988. 328 p.
9. Krajnov S.R., Petrova N.G. Ftoronosnye podzemnye vody, ih geohimicheskie osobennosti i vlijanie na biogeohimicheskie processy // Geohimija. 1976. no. 10. pp. 15–33.
10. Dutova E.M., Pokrovskij V.P., Pokrovskij V.D. Geohimicheskie osobennosti podzemnyh vod hozjajstvenno-pitevogo naznachenija respubliky Hakasija // Vestn. Tomskogo gos. un-ta. 2015. no. 394. pp. 239–249.