УДК 504.453(574)

# ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ ИШИМ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В УСЛОВИЯХ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ЗА ПЕРИОД 2002–2017 ГГ.

# Мезенцева О.В., Ломакина С.С.

ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск, e-mail: mezolga@yandex.ru, svetik.lighting@mail.ru

Обеспеченность Республики Казахстан важнейшим стратегическим ресурсом - пресной водой - низкая. С недостаточной водообепеченностью связана острота водной проблемы, у которой несколько граней. Во-первых, водные ресурсы невелики, так как страна расположена в аридной зоне Евразии. Во-вторых, главным источником водоснабжения являются поверхностные воды. Но забирать из них можно меньше половины имеющихся ресурсов. Кроме этого, запасы пресных вод крайне неравномерно размещены на территории страны. Их величина сильно меняется по годам в зависимости от климатических условий. Также главные водные артерии страны являются трансграничными. За последние 10 лет на территории Северного Казахстана в бассейне р. Ишим участились случаи резкого увеличения стока воды в период весеннего половодья, и в результате наводнений 2014 и 2016 гг. некоторым населенным пунктам в бассейне реки Ишим был нанесен значительный экономический ущерб. В целях установления потенциальных причин данного явления выявлены геоэкологические и физико-географические особенности водосбора данной реки, при этом более подробно рассмотрен режим реки с акцентом на период половодья. Осложняет ведение хозяйства и то, что Акмолинская область (бассейн р. Ишим, правый приток р. Иртыш) за последние 10 лет страдает от паводков практически ежегодно. Равнинный рельеф, плодородие почвы и благоприятные климатические условия способствуют развитию сельского хозяйства на данной территории, однако ежегодные наводнения существенно тормозят социально-экономическое развитие данного аграрного региона, а геоэкологический мониторинг водосборной территории р. Ишим и ее притоков является актуальной задачей.

Ключевые слова: половодье, расход воды, корреляция, годовое количество осадков, водосборный бассейн

# GEOECOLOGICAL MONITORING OF THE CATCHMENT BASIN OF THE ISHIM RIVER IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN DURING THE SPRING FLOOD FOR THE PERIOD OF 2002–2017

### Mezentseva O.V., Lomakina S.S.

Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: mezolga@yandex.ru, svetik.lighting@mail.ru

Kazakhstan has low availability of the most important strategic resource - fresh water. The lack of water protection is associated with the severity of the water problem, which has several facets. First, water resources are small, because the country is located in the arid zone of Eurasia. Secondly, the main source of water supply is surface water. But you can take from them less than half of the available resources. In addition, freshwater reserves are extremely unevenly distributed throughout the country. Their size varies greatly from year to year depending on climatic conditions. Also, the main water arteries of the country are transboundary. Over the past 10 years, in the territory of Northern Kazakhstan in the basin of the Ishim river there have been frequent cases of a sharp increase in water flow during the spring flood, and as a result of the floods in 2014 and 2016. some localities in the Ishim basin suffered significant economic damage. In order to establish the potential causes of this phenomenon, the geoecological and physico-geographical features of the catchment of this river were identified, and the regime of the river was considered in more detail with an emphasis on the flood period. Complicating the management and the fact that the Akmola region (the Ishim river basin, the right tributary of the Irtysh river) has been suffering from floods almost every year over the past 10 years. The flat terrain, soil fertility and favorable climatic conditions contribute to the development of agriculture in this area, however, annual floods significantly impede the socio-economic development of this agrarian region. And geo-ecological monitoring of the catchment area of the Ishim and its tributaries is an urgent task.

Keywords: flood, water consumption, correlation, annual precipitation, catchment basin

Наводнение — это сложное явление, на которое могут влиять факторы, связанные с природными, социально-экономическими и климатическими тенденциями. Влияние климата на формирование стока половодья может быть доминирующим фактором во многих речных бассейнах, даже если при этом наблюдается существенное антропогенное влияние. Так, увеличение интенсивности осадков может стать причиной катастрофических наводнений. В зависимости от площа-

ди затопления и нанесенного материального ущерба выделяют наводнения низкие, высокие, выдающиеся и катастрофические.

В последние полтора десятилетия на территории Северного Казахстана увеличились случаи весенних наводнений, которые по повторяемости можно отнести к низким (малым) наводнениям, характерным для равнинных рек. Согласно классификации, периодичность таких наводнений — один раз в 10–15 лет, при этом заливается во-

дой не более 10% земель, расположенных в низких местах [1]. Как правило, низкие наводнения не связаны со значительными материальными потерями и человеческими жертвами. Однако затопления территорий на некоторых притоках р. Ишим стали повторяться чаще и приводят к затоплению больших площадей в долинах рек, что связано с необходимостью частичной эвакуации населения и материальных ценностей.

Вопросу изучения гидрологических особенностей территории бассейна р. Ишим посвящено много исследований, при этом часто норма стока приводится исходя из многолетних данных за период до 1990—2000 гг., тем самым современное состояние рек и их изменения не учитываются. Научная новизна исследования заключается в проведении анализа гидролого-климатических данных за период с 2002 по 2016 г., а также в составлении гидрографов и графиков, основанных на актуальных данных.

Цель исследования: провести анализ гидрологических и климатических данных за последние 16 лет для бассейна р. Ишим в пределах Северного Казахстана и выявить влияние факторов стока на сток половодья в отдельные годы за 2002–2017 гг.

### Материалы и методы исследования

В качестве основных методов использовались: эколого-географический анализ для выявления особенностей водосборного бассейна р. Ишим, картографический метод и метод ГИС-технологий для составления карт рельефа и анализа гидрографической сети региона. При обработке материала использовались возможности расшифровки дистанционных снимков с помощью ArcGIS 10.1. Также для составления картографического материала и его анализа использованы космические снимки и топографические карты, полученные с помощью приложения SASPlanet. Характеристика стока основывается на анализе данных за 16 лет. Основными источниками информации послужили данные режимных наблюдений РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан на гидропостах в бассейне р. Ишим на территории Северного Казахстана, полученные в результате официального запроса [2, 3]. Расчет и обработка цифровых данных о расходе воды и годовом количестве осадков проводились в программном средстве MicrosoftExcel.

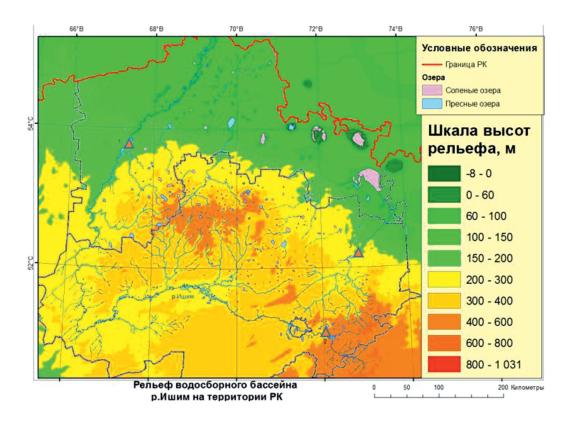


Рис. 1. Рельеф водосборного бассейна р. Ишим

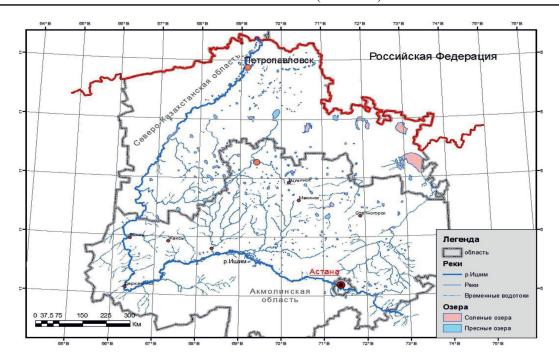


Рис. 2. Гидрографическая сеть бассейна р. Ишим

# Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенного геоэкологического мониторинга бассейна р. Ишим на территории Северного Казахстана были определены геоэкологические и физико-географические особенности водосбора — общий наклон рельефа водосборного бассейна оказывает влияние на формирование различий в характеристике участков реки в верхнем и среднем течении. Различия в рельефе представлены на рис. 1.

Согласно карте рельефа водосборного бассейна р. Ишим на территории Республики Казахстан, наибольшие высотные отметки сконцентрированы на возвышениях Сарыарки, охватывающих северную часть Акмолинской области. Именно отсюда берут начало крупные правые притоки р. Ишим, которые впадают в нее в среднем течении (рис. 2). Далее к северу, ниже по течению, река протекает по низменной территории, с отметками высот 60-150 м. Крупных притоков на данной территории Северо-Казахской равнины река не получает. Именно здесь, в низинной части бассейна, формируется ряд озер (Силетытениз, Жалаулы, Калибек, Теке, Улькен-Караой и др.), которые имеют ряд общих особенностей: бессточность, мелководность, резкие

изменения уровней и объемов воды в течение года, повышенная минерализация воды в отдельные периоды. Озера севера Казахстана пресные, однако имеется значительное количество и засоленных озер. Состав солей и степень засоления самые различные — от слегка солоноватых и горьковатых до очень горьких озер, дающих в сухие годы самосадочную соль [4].

Как видно на рис. 1 и 2, наибольшая густота притоков наблюдается справа по течению р. Ишим. Самыми значительными притоками по водности и длине являются реки Колутон, Жабай, Терисаккан и др. Длина реки в пределах Северного Казахстана составляет 1400 км. На реке и ее притоках функционируют 3 водохранилища — Вячеславское и Сергеевское с объемом 0,4 и 0,7 км³ соответственно, Селетинское на реке Силеты (правый приток р. Ишим) — с объемом 0,4 км³.

Ишим относится к типу рек со смешанным и преимущественно снеговым питанием, дающим более 80% годового стока. В связи с исключительной ролью снега в процессе формирования поверхностного стока основной фазой водного режима является резко выраженное весеннее половодье, начало которого обычно приходится на 10–12 апреля, а пик – на третью декаду апреля, и характеризуется длинной устой-

чивой меженью. В г. Астане до появления Вячеславского водохранилища оно начиналось в среднем 10 апреля, пик проходил 16 апреля, а заканчивалось половодье 20 мая. В отдельные годы начало весеннего пика уровней отмечалось и в конце марта, и в конце апреля. Пик иногда проходил уже в самом начале апреля (1944, 1961 гг.), а в поздние весны он бывал только в первых числах мая. Заканчивалось половодье и в конце апреля (1961 г.), и в конце июня (1949 г.) [5]. По данным за последние 16 лет пик наводнения все чаще приходится на первую декаду апреля (2007, 2014 гг.). На рис. 3 представлена динамика расхода воды за 2014 г. [2].

Большая внутригодовая неравномерность режима стока (рис. 3) характерна для рек засушливого Казахстана и сопряжена со значительной многолетней изменчивостью стока. Годовые объемы стока в многоводный год могут превышать сток маловодного года более чем в 100 раз. Спад половодья растягивается до середины июля. Весенний снеговой сток, проходящий на реках со второй половины марта до третьей декады апреля, составляет в среднем около 90%

годового стока. У временных водотоков удельный вес стока весеннего сезона в годовом цикле достигает 97–100%. Длительность половодья колеблется в среднем от 10 до 30 дней.

Одной из особенностей многолетнего хода стока р. Ишим является тенденция группировки многоводных и маловодных лет, что значительно осложняет его использование в народном хозяйстве. Данная тенденция прослеживается на одном из притоков р. Ишим – реке Жабай с гидропостом в устье р. Жабай. Для подтверждения данные представлены на рис. 4 [3].

Анализ данных гидрографа за период 2002—2016 гг. показал, что максимальный расход воды 45 м³/с пришелся на 2014 г., а минимальный расход воды сохранялся в течение 3 лет: 2006, 2008, 2009 гг. (от 3,29 м³/с до 3,79 м³/с). Таким образом, разница расхода воды между многоводным и маловодным годами составляет порядка 41,71 м³/с. Полученные данные позволяют выделить за последние 15 лет многоводные годы — 2002 г., 2014 г. — и маловодный период — с 2006 по 2013 г.



Рис. 3. Гидрограф стока за 2014 г., построенный по средним месячным значениям

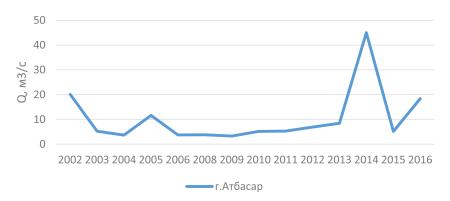


Рис. 4. Изменчивость годового стока р. Ишим за период 2002–2016 гг.

Год	Сумма осадков, мм	Количество осадков	Год	Сумма осадков, мм			
		умеренно-засушливой степи, мм		-			
2002	303,2	300–330	2010	185,8			
2003	306,8	300–330	2011	287,9			
2004	237,5	300–330	2012	256,5			
2005	329	300–330	2013	513,5			
2006	320,3	300–330	2014	299,4			
2007	246,2	300–330	2015	404,2			
2008	258,7	300–330	2016	359,7			
2009	294.2	300–330	2017	282.7			

Годовое количество осадков за период 2002–2017 гг.

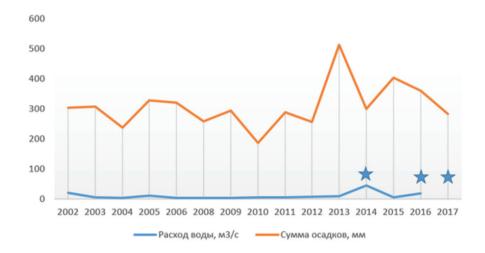


Рис. 5. Корреляция среднего за год расхода воды и количества выпавших осадков за период 2002–2017 гг.

Климатические показатели (осадки, влажность воздуха) на территории водосбора изменяются незначительно, но имеет место различие условий осеннего увлажнения, зимнего промерзания и интенсивности весеннего снеготаяния, что оказывает влияние на уровни половодья в отдельные годы [6]. За исследуемый период существенно изменялось годовое количество осадков в районе г. Атбасар, расположенного на правом берегу р. Ишим в его среднем течении. Можно отметить некоторые отклонения количества осадков от нормы, характерной для степной зоны, где расположено среднее течение р. Ишим.

Согласно данным [3], максимальное количество осадков пришлось на 2013 г. и 2015 г. – 513,5 мм/год и 404,2 мм/год соответственно. Эти показатели превышают среднюю норму примерно на 100–200 мм. Минимальное количество зафиксировано в 2010 г. – 185,8 мм/год, что почти в 2 раза ниже среднего многолетнего показателя.

В целях выявления прямой зависимости многоводных и маловодных лет от количества выпавших осадков, целесообразно провести корреляцию между средним за год расходом воды и годовым количеством осадков (рис. 5).

Анализируя вышеприведенные данные, можно увидеть значительные колебания в годовом количестве осадков за рассмотренный период. При этом на графике отмечены годы, в которые отмечалось значительное повышение уровня воды в период весеннего половодья, приводящее к затоплению жилых территорий (2014, 2016, 2017). Как правило, этим годам предшествовали годы с повышенным количеством выпадения осадков, например, годовая сумма осадков 2013 г. – 513,5 мм/год, и в 2014 г. средний расход воды  $45 \text{ м}^3/\text{c}$ ). Однако, сравнивая данные между расходом воды и количеством осадков в маловодные периоды, отмечены и некоторые различия.

#### Заключение

Проведенный анализ позволяет выделить за последние 16 лет многоводные годы — 2002, 2014, 2016 гг., и маловодный период — с 2006 по 2013 г. При этом каждый многоводный год сопровождается сильными паводками на отдельных участках бассейна. Установлены существенные колебания годового количества осадков и отсутствие какой-либо тенденции осадков. Зафиксированы резкие отклонения осадков от нормы в пределах степной зоны.

В ходе работы показано, что наводнения в период весеннего половодья на р. Ишим и ее притоках в пределах Северного Казахстана зависят от особенностей водосбора. Строение гидрографической сети в значительной мере обусловлено характером рельефа поверхности бассейна р. Ишим: равнинность бассейна на севере с повышением отметок высот в центре определила основное направление стока. Полученные результаты планируется использовать при проведении дальнейшего анализа и выявления причин паводковых ситуаций в период весеннего половодья на равнинной территории Северного Казахстана.

#### Список литературы / References

1. Геопортал ИВМ СО РАН. Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск [Электронный ресурс]. URL: http://gis.krasn.ru/blog/freshet/terms (дата обращения: 20.11.2018).

Geoportal of ICM SB RAS. Institute of Computational Modeling SB RAS, Krasnoyarsk [Electronic resource]. URL: http://gis.krasn.ru/blog/freshet/terms (date of access: 20.11.2018) (in Russian).

2. Среднемесячный расход воды: официальное письмо РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан от 23.10.2018 г. № 13-09/3186.

Average monthly water consumption an official letter of RSE «Kazgidromet» of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan dated 10.23.2018. № 13-09 / 3186 (in Russian).

3. Гидрологическая и метеорологическая информация: официальное письмо РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан от 19.11.2018 г. № 13-09/3491.

Hydrological and meteorological information: an official letter of the RSE «Kazhydromet» of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan dated 11.19.2018. № 13-09 / 3491 (in Russian)

4. Какпанова А.К., Кажмуратова А.Т., Жолболсынова А.С. О солевом балансе озер Северо-Казахстанской области // Вестник КарГУ, Серия: Биология. Медицина. География. 2012. № 3(67). С. 75–81.

Kakpanova A.K., Kazhmuratova A.T., Zholbolsynova A.S. About salt balance of lakes of the North-Kazahstan region // Bulletin of the University. Series: Biology. Medicine. Geography. 2012. № 3 (67). P. 75–81 (in Russian).

5. Шибутов М.М. Проект водоохранных зон и полос реки Ишим (краткий итоговый отчет). Алматы, 2004. С. 6–7.

Shibutov M.M. The project of water protection zones and strips of the Ishim river (short final report). Almaty, 2004. P. 6–7 (in Russian).

Мезенцева О.В., Волковская Н.П. Пространственно-временная изменчивость гидролого-климатических факторов формирования максимальных уровней воды на реке Ишим // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 166–171.

Mezentseva O.V., Volkovskaya N.P. Spatio-temporal variability of hydrological and climatic factors of formation of maximum water levels on the Ishim river // Advances in current natural sciences. 2018. № 8. P. 166–171 (in Russian).

УДК 551.578.4:504.05/.06(571.62)

# О РЕЗУЛЬТАТАХ ХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СНЕЖНОГО ПОКРОВА ХАБАРОВСКА

# Новороцкая А.Г.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, e-mail: novag59@mail.ru

В работе представлены результаты проведенной снегосъемки и анализа химического состава снежного покрова на территории г. Хабаровска за зимний сезон 2017–2018 гг. Дана оценка состояния атмосферного воздуха в крупном промышленном центре Приамурья в зоне влияния выбросов: предприятий теплоэнергетики – ТЭЦ-1, 2, 3, нефтеперерабатывающего завода и автотранспорта, в рекреационной зоне (парки «Динамо» и ЦПКО, «Детский» санаторий), на льду и в долине р. Амур по следующим параметрам: величине рН, удельной электропроводности, концентрациям главных ионов ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}$ ), биогенных ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $HPO_4^{-2}$ ,  $SiO_2$ ) и взвешенных веществ, величинам: показателя относительной кислотности ( $pH/pNH_4$ ) и минерализации, типу химического состава снежного покрова. За зимний сезон в снежном покрове накоплено (в  $\tau/km^2$ ) от 1,040 до 4,114 растворимых минеральных веществ, на долю веществ хозяйственного генезиса в среднем пришлось до 81,5% от общего количества солей. Среднее поступление водорастворимых минеральных веществ — 2,494  $\tau/km^2$ , в том числе в виде  $SO_4^{-2} - 23,4\%$ ;  $NO_3^- - 13,4\%$ ,  $NH_4^+ - 3,9\%$  соответственно, что составило 45% от общего количества выпавших солей. Вклад ионов аммони и нитрат-ионов в суммарное содержание минерального азота в СП составил 38–62% и 37–61%, нитритионов — от 0,02 до 0,08% соответственно. В снежном покрове отмечено превышение предельно допустимой концентрации по ионам аммония до 2 раз в среднем и 3 раз максимально.

Ключевые слова: снежный покров, ПДК, тип химического состава, минерализация, главные ионы и биогенные вещества, загрязнение, Хабаровск

# ON THE RESULTS OF CHEMICAL MONITORING OF SNOW COVER OF KHABAROVSK

## Novorotskaya A.G.

Institute of Water and Ecology Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, e-mail: novag59@mail.ru

The paper presents the results of snow survey and analysis of the chemical composition of snow cover in the territory of Khabarovsk for the winter season 2017–2018. An assessment of the state of atmospheric air in the large industrial center of the Amur region in the zone of influence of emissions from thermal power plants – TPP-1, 2, 3, oil refinery and motor transport, in the recreation zone (Dynamo and Central Recreation and Leisure parks, Detsky health resort), on ice and in the valley the Amur River on the following parameters: pH, specific conductivity, concentrations of major ions ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3$ ,  $Cl^*$ ,  $SO_4^{2-}$ ), biogenic ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $SiO_2^-$ ) and suspended substances; on the following values: relative acidity index (pH/pNH<sub>4</sub>) and mineralization, the type of chemical composition of snow cover. During the winter season, snow cover accumulated (in t / km²) from 1,040 to 4,114 soluble mineral substances, and the share of substances of economic genesis amounted to 81.5% of the total amount of salts in average. The average intake of water-soluble mineral substances is 2.494 t / km², including in the form of  $SO_4^{2-} - 23.4\%$ ;  $NO_3^{-} - 13.4\%$ ,  $NH_4^+ - 3.9\%$ , respectively, which accounted for 45% of the total amount of salts. The contribution of ammonium ions and nitrate ions to the total content of mineral nitrogen in snow cover was 38–62% and 37–61%, and nitrite ions – from 0.02 to 0.08%, respectively. In the snow cover, the maximum permissible concentration for ammonium ions was up to 3 times maximum.

Keywords: snow cover, the maximum permissible concentration, type of chemical composition, mineralization, major ions and biogenic substances, pollution, Khabarovsk

Снежный покров (СП) – естественный планшет-накопитель аэрозольных веществ, в котором происходит аккумуляция и консервация атмосферных выпадений. СП является индикатором не только состояния атмосферы, но и загрязнения почвы и объектов гидросферы [1 – 3]. Интерес к исследованию химического состава СП возрос с 1970-х гг. [2]. В дальневосточном регионе лишь единицы исследователей серьезно занимаются изучением СП [1, 4, 5]. Заслуживают внимания работы по исследованию в СП: органического и неорганического углерода [3, 6], органических компонентов: нефтепродуктов [4, 6], фенолов [4], углево-

дородов: ациклических (н-алканов), ароматических [3, 6] и полициклических ароматических (ПАУ) [3, 7] в г. Хабаровске и на территории Большехецирского заповедника. ПАУ представляют серьезную опасность, из-за их воздействия на живые организмы (канцерогенного, мутагенного и тератогенного) [7]. Результаты по водорастворимым минеральным компонентам СП (главным ионам и биогенным веществам), взвешенным веществам приведены в [1, 8].

В Хабаровском крае со сложными климатическими условиями и длительными снежными зимами (период залегания снега от 4,5 и более месяцев) исследование химического

состава СП приобретает особую актуальность, так как 80% населения городов в крае проживает в условиях высокого и очень высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха. Город Хабаровск - крупный административный центр РФ с площадью 386 км<sup>2</sup> и населением 618 150 чел. человек. Основные стационарные источники загрязнения атмосферы в городе - предприятия теплоэнергетики (ТЭЦ-1, 3) и нефтепереработки (Хабаровский НПЗ). Доля автотранспорта – 45% от суммарного выброса загрязняющих веществ. В г. Хабаровске по данным администрации на конец 2017 г. зарегистрировано более 222 тыс. автомобилей. Уровень загрязнения воздуха в городе - повышенный за счет бенз(а)пирена и формальдегида, из основных примесей атмосфера больше всего загрязнена взвешенными веществами и диоксидом азота. В 2014 и 2015 гг. изменились гигиенические нормативы по формальдегиду и фенолу соответственно, что не отражает реальный уровень загрязнения воздуха [9]. В атмосфере г. Хабаровска отмечен рост в 4–5 раз концентраций летучих ароматических углеводородов, в основном в результате деятельности нефтеперерабатывающего завода, а также автостоянок и автозаправок [10].

В зимний период в г. Хабаровске создаются наиболее неблагоприятные метеоусловия для рассеивания загрязняющих веществ — преобладают юго-западные, западные (70–80%) и северо-восточные ветры (11%) с наибольшей повторяемостью слабых ветров — 17–24%, с наибольшим количеством штилей в году — 14% [11]. Из-за близкого географического расположения города и сопредельной территории КНР с высоким экономическим ростом и загрязнением атмосферы не исключен трансграничный перенос атмосферных примесей на Дальний Восток РФ в соответствии с розой ветров [1, 6].

Цель работы – интегральная оценка состояния атмосферного воздуха в г. Хабаровске по химическому составу СП.

Задачи: исследование химического состава СП в промышленных, парковых зонах и в районе интенсивного движения автотранспорта в г. Хабаровске, количественная оценка поступления растворимых минеральных веществ за зимний сезон 2017–2018 гг., в том числе в виде кислотообразующих форм, минерального азота, веществ антропогенного генезиса с последующим определением наиболее загрязненных участков, выявление возможного трансграничного переноса со стороны КНР.

# Материалы и методы исследования

Отобрано 9 интегральных проб СП (минимум по 10–15 колонок каждая) снегомерным цилиндром ВС–43 на всю его мощность в полиэтиленовые пакеты в период максимального влагозапаса в СП в соответствии с ISO 5667 – 1.2 (2006, 1991) [7] и [12] 13–14 марта 2018 г. на следующих площадках (станциях) г. Хабаровск: правый берег р. Амур (ст. 1), центр города, зона воздействия автотранспорта (ст. 2), на льду р. Амур (ст. 3), санаторий «Детский» (ст. 4); районы парков: «ЦПКО» (Центральный парк культуры и отдыха) (ст. 5), «Динамо» (ст. 6); районы ТЭЦ-1 (ст. 7), ТЭЦ-2 (ст. 8), ТЭЦ-3 (ст. 9) (рис. 1).

Проведена снегосъемка: измерялась высота (h, см), рассчитывались плотность (d, г/см³) и влагозапас (P, мм) СП. Образцы СП плавились при комнатной температуре в закрытой стеклянной посуде (объем проб составил не менее 2,5–3,0 дм³ в соответствии с [12]), фильтровались под вакуумом через ядерные фильтры с размером пор 0,45 мкм и подвергались химическому анализу на следующие показатели: величина рН, удельная электропроводность (УЭП), главные ионы ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ), биогенные ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $SiO_2$ ) и взвешенные вещества (BB) по [12].

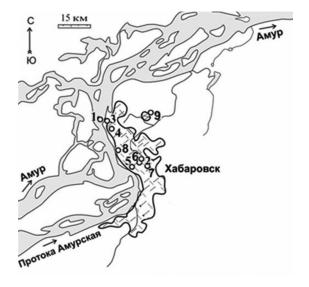


Рис. 1. Схема отбора проб снежного покрова в г. Хабаровске (составлена С.И. Левшиной)

Рассчитаны: суммарная концентрация ионов натрия и калия, величина минерализации (М) как сумма всех определенных при анализе минеральных веществ, средневзвешенные (далее – средние) по-

казатели СП (с учетом ст. 2). Корреляционный анализ проведен с помощью программы EXCEL-2016. Для выявления зон загрязнения и оценки состояния СП использовались индикаторы экологического состояния СП [1]. Физико-химические характеристики СП сравнивались с условно-фоновыми показателями – для территории Эворон-Чукчагирской низменности по данным 1976-1980 гг. [13] и с предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК) [14] из-за отсутствия нормативных документов по ПДК для СП. При определении типа химического состава СП использовалась классификация О.А. Алекина [15]. Подробно методы, методики, расчетные формулы, данные по условно-фоновой территории приведены в работе [8].

# Результаты исследования и их обсуждения

Результаты химического состава (и усредненные данные) СП г. Хабаровска представлены в табл. 1, 2.

Химический состав СП в основном — сульфатно-кальциевый второго типа ( $S_{II}^{\ Ca}$ ), изредка — сульфатно-кальциево-магниевый второго типа ( $S_{II}^{\ Ca}$ , (ст. 5), для СП, отобранного у автодороги — хлоридно-натриевый третьего типа ( $Cl_{III}^{\ Na}$ ) (ст. 2), что объяснялось использованием реагентов в качестве антиобледенителей дорог.

Максимальные показатели M, BB и УЭП отмечены в СП в зоне влияния выбросов

автотранспорта (ст. 2), которые превысили средние величины (без учета данных ст. 2) по г. Хабаровску в 3 и 4 раза (рис. 2). В СП ст. 2 также наблюдались наибольшие концентрации Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NO<sub>2</sub>-, HCO<sub>3</sub>-, Cl-, NO<sub>3</sub>и SiO<sub>2</sub>, которые составили 1,7; 2,0; 2,4; 2,2; 8,7 и 1,3 раза от средних величин соответственно. Не исключена потеря доли хлоридов натрия и калия СП за счет их хорошей растворимости в результате начавшегося снеготаяния (при отрицательной температуре воздуха). Наибольшие величины М СП промышленной зоны отмечены для района ТЭЦ-3 (ст. 9) (28,1 мг/дм<sup>3</sup>) – до 1,3 раз средних и 4,9 условно-фоновых единиц. Высокие показатели М характерны и для СП парковых зон: 22,1и 25,7 мг/дм<sup>3</sup> для станций 5 и 6 соответственно (рис. 1, 2).

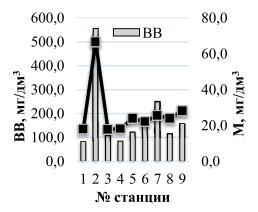


Рис. 2. Содержание взвешенных веществ и величина минерализации снежного покрова, мг/дм<sup>3</sup>

**Таблица 1** Интегральные показатели химического состава снежного покрова г. Хабаровска и результаты снегосъемки, март 2018 г. (n = 9)

рН	УЭП,	M,	BB,	pH/pNH <sub>4</sub>	h, см	d, г/см <sup>3</sup>	Р, мм	
	мкСм/см	$M\Gamma/дM^3$	мг/дм³	-				
4,96–6,64 5,40	<u>14,8–100,3</u> 30,7	17,9–66,5 25,9	83,3–555,9 172.0	1,1-1,6 1,3	<u>26–56</u> 43	0,17-0,26 0.22	<u>58–134</u> 96	

 $\Pi$  р и м е ч а н и е : здесь и далее над чертой — минимальное и максимальное значение, под чертой — средневзвешенное значение, п — количество проб.

Таблица 2 Содержание главных ионов и биогенных веществ в снежном покрове г. Хабаровска, март 2018 г., мг/дм³ (n = 9)

Компонент											
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub>	Cl-	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (P)	SiO <sub>2</sub>			
1,4-3,1 1,9	<u>0,4–1,9</u> 0,8	2,7-8,7 4,3	1,9–22,7 4,2	4,81-8,02 6,06	0,59–1,51 1,01	2,42-5,11 3,48	0,037-0,381 0,154	0,37-0,69 0,53			

Минимальные величины рН СП обнаружены для ст. 8, 4, 1 и 2 (ниже 5,60, характерной для незагрязненных атмосферных осадков): от 4,96 до 5,13, средняя величина рН для района исследований (без учета пробы СП на ст. 2) -5,37, что характеризует сдвиг рН в сторону кислой среды. Максимальные значения рН СП (до 6,64; 6,33) отмечены для промышленной зоны района ТЭЦ-1, ТЭЦ-3, что вполне естественно, так как защелачивание СП происходит в результате взаимодействия с золой топлива. Среди парков следует выделить парк «Динамо», находящийся в центре города, в зоне влияния выбросов автотранспорта, и характеризующийся большим загрязнением СП ионами аммония (до 3 ПДК), чем «ЦПКО», где обнаружена более значительная концентрация нитрат-ионов в СП  $(4,37 \text{ мг/дм}^3)$ . Район санатория «Детский», находящегося в северной части г. Хабаровска, по физикохимическим показателям нельзя принять в качестве фонового района. Несмотря на минимальное содержание нитрат-ионов в СП ст. 4 величина М СП составила до 3,2 условно-фоновых единиц, содержание ионов аммония – до 1,9 ПДК. Концентрация NH, + в СП на всех станциях наблюдения – выше ПДК (рис. 3), в среднем – до 2 раз [14]. По величине показателя относительной кислотности СП (рН/рNН<sub>4</sub>), которая изменялась от 1,1 (ст. 1) до 1,6 (ст. 7) (при среднем показателе – 1,3), атмосферу г. Хабаровска на станциях 1, 3, 4, 8 можно охарактеризовать как слабо подверженную, а на ст. 2, 5, 6, 7, 9, как подверженную непосредственному влиянию хозяйственной деятельности [1]. Более низкие величины: М СП, показателя относительной кислотности (рН/рNН<sub>4</sub>) зимнего сезона 2017-2018 гг. по сравнению с показателями для прошлогоднего объяснялись гидрометеорологическими особенностями периодов наблюдений.

Минеральные соединения азота в СП представлены  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ . Вклад ионов аммония и нитрат-ионов в суммарное содержание минерального азота в СП составил 38-62% и 37-61%, нитрит-ионов — от 0,02 до 0,09% соответственно. Вклад нитрит- и нитрат-ионов в зимний сезон 2016-2017 гг. был выше: 0,03-7,7% и 37-85% соответственно. За зимний сезон наблюдений поступило (в  $\tau/\kappa m^2$ ) от 0,074 (ст. 3) до 0,227 (ст. 5), в среднем — 0,151 минерального азота.

Максимальная концентрация ортофосфат-ионов обнаружена в СП ст. 9, что

связано с использованием угля в качестве ископаемого топлива на ТЭЦ-3, минимальные – в СП ст. 1, 3. Содержание HPO $_4^{2-}$  в СП соответствовало таковому в СП и атмосферных осадках во время лесных пожаров [13].

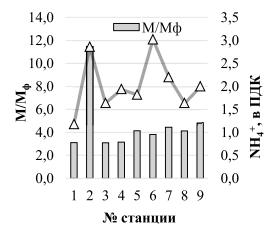


Рис. 3. Величины минерализации снежного покрова г. Хабаровска в условно-фоновых(M<sub>ф</sub>) единицах и содержание ионов аммония в СП в ПДК

Концентрация ВВ в СП зимнего сезона 2017–2018 гг. выше прошлогоднего значения в 1,3 раза, минимальное содержание ВВ отмечено в СП станций 1, 3 за счет преобладающих ветров по долине р. Амур, максимальное – в зоне влияния ТЭЦ-1 – ст. 7. Выбросы автотранспорта в центре города привели к локальному максимальному загрязнению СП ВВ – на ст. 2 содержание пыли в СП в 4 раза выше среднего значения.

За исследованный зимний сезон в СП накоплено (в  $\tau/\kappa m^2$ ) от 1,040 (станция 3) до 4,114 (станция 2) (рис. 4), в среднем – 2,494 т/км<sup>2</sup> растворимых минеральных веществ. В основном из атмосферы в СП поступали соли главных ионов (80%), доля биогенных веществ составила 20%, кислотообразующих форм:  $SO_4^{2} - 23,4\%$ ;  $NO_{3} - 13.4\%$ ; ионов аммония – около 4%. До 81,5% от общего количества солей в СП в среднем пришлось на долю веществ хозяйственного генезиса. Полученные количественные характеристики согласовывались с данными для сезона 2016-2017 гг. Несмотря на более низкую величину М СП на фоне снижения поступления нитратионов в 1,1 раза по сравнению с прошлым сезоном доля поступления сульфат-ионов и ионов аммония в СП за исследованный период возросла в 1,6 и 1,1 раз.

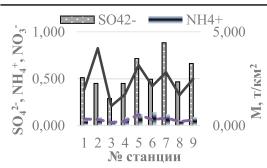


Рис. 4. Поступление сульфат-, нитрат-ионов, ионов аммония, минеральных веществ в СП г. Хабаровска за зимний сезон 2017–2018 гг., т/км²

Значимые величины коэффициентов корреляции (r) характеризовали тесную связь между параметрами (табл. 3). Из таблицы видно, что влагозапас в СП зависит от высоты СП, а величины УЭП, М СП – в основном определяются содержанием почти всех компонентов кроме сульфат-, орто-фосфат-ионов и ионов аммония. Величины r подтверждают вышеизложенные

данные по поступлению растворимых минеральных веществ из атмосферы в СП за зимний сезон.

Более детальную количественную характеристику (в том числе пылевую нагрузку и пр.) для исследованной территории по химическому составу СП на данном этапе исследования рассчитать не представилось возможным из-за отсутствия гидрометеорологической информации, в частности по датам образования устойчивого СП и его схода, датам перехода среднесуточных температур воздуха через 0°С и -5°С весной, осенью и зимой соответственно для расчета длительности зимнего сезона, сумм выпавших атмосферных осадков как в зимний, так и в предзимний период года, что чрезвычайно важно для понимания процессов выведения примесей из атмосферы. В официальных источниках МПР Хабаровского края [9] с 2017 г. отсутствует информация о климатических особенностях года, что затрудняет выявление роли метеорологических факторов в формировании химического состава СП.

Таблица 3 Расчетные значения коэффициентов парной корреляции (r)

	h	P	рН	УЭП	Na++ K+	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> -	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl-	NO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	M
h	1															
P	0,85	1														
pН	0,25	0,45	1													
УЭП	-0,53	-0,40	0,32	1												
Na++ K+	-0,55	-0,40	0,22	0,99	1											
Ca <sup>2+</sup>	-0,51	-0,42	0,21	0,78	0,80	1										
Mg <sup>2+</sup>	-0,23	-0,16	0,54	0,92	0,89	0,73	1									
NO <sub>2</sub>	-0,24	-0,26	0,55	0,68	0,57	0,54	0,75	1								
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,23	-0,14	0,60	0,65	0,52	0,21	0,67	0,83	1							
HCO <sub>3</sub>	-0,32	-0,25	0,54	0,93	0,89	0,81	0,97	0,79	0,65	1						
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,33	0,13	0,53	0,30	0,22	0,38	0,48	0,56	0,36	0,56	1					
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,13	-0,14	0,53	0,47	0,42	0,61	0,65	0,47	0,30	0,59	0,34	1				
Cl <sup>-</sup>	-0,57	-0,43	0,19	0,99	1,00	0,78	0,87	0,60	0,55	0,88	0,22	0,37	1			
NO <sub>3</sub>	-0,13	0,13	0,57	0,77	0,80	0,61	0,83	0,43	0,41	0,82	0,27	0,41	0,76	1		
SiO <sub>2</sub>	0,03	0,03	0,75	0,70	0,63	0,50	0,86	0,75	0,70	0,88	0,73	0,55	0,61	0,74	1	
M	-0,49	-0,36	0,34	0,99	0,99	0,83	0,94	0,66	0,58	0,95	0,32	0,52	0,98	0,82	0,71	1

 $\Pi$  р и м е ч а н и е . Табличные значения:  $r=0,67,\ P=0,95,\ f=7,\ r$ де P- достоверность, f- степени свободы (f=n-2), **жирным** шрифтом выделены значимые значения r.

Таким образом, можно заключить, что на формирование химического состава снежного покрова г. Хабаровска оказывали влияние газопылевые выбросы от стационарных и передвижных источников, что проявилось в повышении концентраций сульфат-ионов, ионов аммония в снегу, в закислении и защелачивании снежного покрова, в увеличении содержания взвешенных веществ (пыли). Влияние антропогенной деятельности на снежный покров отразилось в возрастании величины его минерализации до 4,9 условно-фоновых единиц и превышении ПДК по ионам аммония до 3 раз максимально. За зимний сезон 2017-2018 гг. в снегу накоплено в среднем около 2,5 т/км<sup>2</sup> растворимых минеральных веществ, доля веществ антропогенного генезиса составила более 80%. Не исключены: трансграничный перенос загрязняющих веществ со стороны КНР в соответствии с розой ветров в зимний период и вероятность поступления загрязняющих веществ в почвенный покров и в воды р. Амур в весенний период при снеготаянии.

### Список литературы / References

1. Новороцкая А.Г. Химический состав снежного покрова как индикатор экологического состояния Нижнего Приамурья: автореф. дис. . . . канд. географ. наук. Хабаровск, 2002. 24 с.

Novorotskaya A.G. The chemical composition of snow cover as an indicator of the ecological state of the Lower Amur region: avtoref. dis. . . . kand. geograf. nauk. Khabarovsk, 2002. 24 p. (in Russian).

2. Калманова В.Б. Экологическое состояние снежного покрова как показатель качества урбанизированной среды (на примере г. Биробиджана) // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–2 [Электронный ресурс]. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21525 (дата обращения: 09.12.2018).

(дата обращения: 09.12.2018).

Kalmanova V.B. The ecological condition of the snow cover as an indicator of the quality of the urban environment (by the example of Birobidzhan) // Sovremennyie problemyi nauki i obrazovaniya. 2015. № 2–2 [Electronic resource]. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21525 (date of access: 09.12.2018) (in Russian).

сеss: 09.12.2018) (in Russian).

3. Левшина С.И. Распределение органических веществ в поверхностных водах и снежном покрове территории государственного природного заповедника «Большехехцирский» // Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем условиях глобального изменения климата: сборник докладов Всероссийской конференции (Хабаровск, 29 сентября – 3 октября 2014 г.). Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2014. С. 104–107. Levshina S.I. Organic matter disctibution in surface waters

Levshina S.I. Organic matter disctibution in surface waters and snow cover in the Bolshekhekhtsirsky state nature reserve // Water and Ecological Problems, Ecosystems Transformations under the Global Climate Change: All-Russia Conference Proceedings (Khabarovsk, September 29 – October 3, 2014). Khabarovsk; IWEP FEB RAS, 2014. P. 104–107 (in Russian).

4. Levshina S. Petroleum products and phenols in snow cover in Khabarovsk, southern Russian Far East Water, Air, & Soil Pollution. 2012. vol. 223. no 6. P. 3553–3563. DOI: 10.1007/s11270-012-1136-2.

5. Калманова В.Б. Исследование техногенного загрязнения атмосферного воздуха г. Биробиджана // Современные проблемы регионального развития: тезисы VII Всеросийской научной конференции (Биробиджан, 9–11 октября 2018 г.) / Под ред. Е.Я. Фрисмана. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, ФГБУ ВО «ПГУ им. Шолом-Алейхема», 2018. С. 11–15. DOI: 10.31433/978-5-904121-22-8-2018-11-15.

Kalmanova V.B. The study of technogenic pollution of atmospheric air of the city of Birobidzhan // Present Problems of Regional Development: Materials of the VII All-Russian Scientific Conference (Birobidzhan, October 09–11, 2018), edited by E.Ya. Frisman. Birobidzhan: ICARP FEB RAS, FSBEI HPE «Sholom-Aleichem PSU», 2018. P. 11–15 (in Russian).

6. Левшина С.И. Органические вещества в снежном покрове территории государственного природного заповедника «Большехехцирский» в период аномально снежной зимы // Регионы нового освоения: Современное состояние природных комплексов и вопросы их охраны: сборник материалов конференции с международным участием (г. Хабаровск, 11–14 октября 2015 г.). Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2015. С. 184–186.

Levshina S.I. Organic matter in the Snow Cover in Time of Anomalously Snowy Winter in the Bolshekhekhtsirsky State Wildlife

Levshina S.I. Organic matter in the Snow Cover in Time of Anomalously Snowy Winter in the Bolshekhekhtsirsky State Wildlife Reserve // Regions of New Development: Current State of Natural Complexes and the Problems of their Protection: conference with International Participation Proceedings (Khabarovsk, October 11–14, 2015). Khabarovsk: IWEP FEB RAS, 2015. P. 184–188 (in Russian).

7. Левшина С.И. Загрязнение снежного покрова территории Большехехцирского государственного природного заповедника полициклическими ароматическими углеводородами // Природные опасности, современные экологические риски и устойчивость экосистем: VII Дружининские чтения жатериалы Всероссийской конференции с международным участием. (Хабаровск, 2–5 октября 2018 г.). Хабаровск: ООО «Омега-пресс», 2018. С. 228–231.

Levshina S.I. Polycyclic aromatic hydrocarbon (pah)

Levshina S.I. Polycyclic aromatic hydrocarbon (pah) pollution in snow of the Bol'shekhekhtsirsky state nature reserve area // Natural hazards, modem environmental risks and ecosystem resilience: VII Dmzhinin's Readings: the Scientific Conference Proceedings (Khabarovsk, October 2–5, 2018). Khabarovsk: ООО Отеда-Press, 2018. P. 228–231 (in Russian). 8. Новороцкая А.Г. Эколого-гляциохимические критерии оценки состояния атмосферы г. Хабаровск // Со-

8. Новороцкая А.Г. Эколого-гляциохимические критерии оценки состояния атмосферы г. Хабаровск // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 12 [Электронный ресурс]. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/12/75274 (дата обращения: 09.12.2018).

Novorotskaya A.G. Glaciochemical criteria assessment of Khabarovsk atmosphere conditions // Sovremennyie nauchnyie issledovaniya i innovatsii. 2016. № 12 [Electronic resource]. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/12/75274 (date of access: 09.12.2018) (in Russian).

9. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2017 году / под ред. А.Б. Ермолина. Воронеж: ООО «Фаворит», 2018. 250 с.

State report on the state and protection of the environment of the Khabarovsk Territory in 2017 / ed. A.B. Ermolin. Voronezh: OOO «Favorit», 2018. 250 p. (in Russian).

10. Подпенко Е. Чем мы дышим? Опасен ли воздух в Хабаровске? [Электронный ресурс]. URL: https://habinfo.ru/chem-my-dyshim-opasen-li-vozduh-v-habarovske/ (дата обращения 10.12.2018).

Podpenro E. What do we breathe? Is the air in Khabarovsk dangerous? [Electronic resource]. URL: https://habinfo.ru/chem-my-dyshim-opasen-li-vozduh-v-habarovske/ (date of access 10.12.2018) (in Russian).

11. Новороцкий П.В. Экологические аспекты загряз-

11. Новороцкий П.В. Экологические аспекты загрязнения атмосферного воздуха Хабаровска. Препринт: ИВЭП ДВО РАН, Хабаровск, 1993. 43 с.
Novorotsky P.V. Environmental aspects of air pollution

Novorotsky P.V. Environmental aspects of air pollution in Khabarovsk, Preprint: IWEP FEB RAS, Khabarovsk, 1993. 43 p. (in Russian).

12. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М., 1991. 556 с. (ред. от 11.02.2016).

Guidelines for the control of air pollution. RD 52.04.186-89. М., 1991. 556 р. (red. ot 11.02.2016) (in Russian). 13. Иванов А.В., Кашин Н.П. Лесные пожары и много-

 Иванов А.В., Кашин Н.П. Лесные пожары и многолетняя изменчивость химического состава атмосферных осадков и снежного покрова // Гидрохимические материалы.
 1989. № 95. С. 3–14.

1989. № 95. С. 3–14.

Ivanov V.V., Kashin N.P. Forest fires and long-term variability of the chemical composition of precipitation and snow cover // Hydrochemical materials. 1989. № 95. Р. 3–14 (in Russian).

14. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552

14. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 № 45203).

Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016 № 552 «On approval of water quality standards for water bodies of fisheries significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water bodies of fisheries value» (Zaregistrirovano v Minyuste Rossii 13.01.2017 № 45203) (in Russian).

15. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: ГИМИЗ, 1970. 444 с.

Alekin O.A. Basics of hydrochemistry. L.: GIMIZ, 1970. 444 p. (in Russian).