

УДК 87.17

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ pH И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В БРАТСКЕ

Янченко Наталья Ивановна,

д-р техн. наук, ведущ. научн. сотр. научно-исследовательской части
Иркутского государственного технического университета, Россия, 664074,
г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83; профессор кафедры экономики труда и
управления персоналом Факультета управления человеческими ресурсами
Байкальского государственного университета экономики и права,
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 11. E-mail: fduecn@bk.ru

Актуальность исследования определяется необходимостью получения достоверной информации, отражающей состояние атмосферы и площади рассеивания выбросов на основе исследования физико-химических свойств снежного покрова города Братска. **Цель работы:** изучение особенностей изменения величины pH и электропроводности с учетом химического состава фильтрата снежного покрова в районе промышленных выбросов.

Методы исследования: отбор проб снежного покрова по методике Росгидромета, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), потенциометрия, кондуктометрия.

Результаты: по результатам снегохимической съемки в районе Братска проведено определение удельной электропроводности и pH фильтрата снежного покрова. Промышленные выбросы в Братске обусловлены производством первичного алюминия, ферросплавов, целлюлозы, а также теплоэнергетикой и автотранспортом. Величина pH снежного покрова в жилом секторе Центрального Братска находится в интервале 5,5–7,7, в районах основной промышленной площадки – 6,0–7,5. Установлены коэффициенты парной корреляции между pH и удельной электропроводностью, содержанием Rb, K, S, Cs, Ga, Cr, Ca, Na, As, Cl, Pb в фильтрате снежного покрова. Изменение этих величин зависит от выбросов автотранспорта и промышленных предприятий. Величина χ снежного покрова в жилых и промышленных районах находится в интервале 10–200 мкСм/см, наибольшие значения χ 140–200 мкСм/см отмечаются вблизи автомобильных дорог. Отмечено, что на вершине горы высотой примерно 476 м в фильтрате снеговой воды регистрируются наиболее высокие значения электропроводности и концентрации фтора, алюминия по сравнению с пробами, отобранными на склонах. Впервые построена карта изолинии удельной электропроводности фильтрата снежного покрова в районе Братска, с интервалом 10 мкСм/см. На картосхеме отображены области изменения электропроводности, локальные максимумы электропроводности, соответствующие точкам отбора проб с максимальными значениями и приуроченные к промышленным объектам – источникам загрязнения. Область изменения удельной электропроводности фильтрата снежного покрова отражает область распространения промышленных выбросов, и в этих областях есть риск атмосферной коррозии для техногенных объектов.

Ключевые слова:

Снежный покров, удельная электропроводность, pH, селитебные и промышленные территории, атмосфера.

Измерение электропроводности и pH снежного покрова используется для оценки состава атмосферы под влиянием природных и антропогенных факторов [1–7], т. к. эти величины регистрируются в снежном покрове, который отражает химический состав атмосферных осадков и самого атмосферного воздуха [7]. Регулярные наблюдения по изучению основных макрокомпонентов, pH и удельной электропроводности организованы Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова на территории СССР, в т. ч. на метеостанции в Братске, но только в ежемесячных атмосферных осадках [8, 9]. Также Братский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды выполняет снегохимическую съемку в 7 районах (в 11 точках) Братска, без определения величины pH и удельной электропроводности [10]. Кроме того, величины pH и электропроводность могут свидетельствовать о риске атмосферной коррозии техногенных объектов при χ снеговой воды в интервале 16–53 кСм/см [11] с учетом ионного состава снежного покрова.

Промышленные выбросы в Братске обусловлены производством первичного алюминия (БрАЗ),

ферросплавов (БЗФ), целлюлозы на лесопромышленном комплексе (БЛПК); теплоэнергетикой и автотранспортом. Город Братск на протяжении многих лет входит в Приоритетный список, куда включаются города РФ, имеющие комплексный показатель загрязнения воздуха – индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) ≥ 14 . Для Братска ИЗА колеблется от 34 до 44 [12].

Районы и объект исследования

В районе Братска рельеф крупнохолмистый, с перепадами высот в пределах от 402 до 670 м. В течение года скорость ветра – 1–3 м/с, преобладает юго-западный и западный ветровой перенос воздушных масс [13]. Выбросы направлены в основном на селитебные территории, т. к. в начале XX в. при планировании размещения промышленной площадки и жилых районов города не учли, что выбросы в соответствии с основным переносом воздушных масс будут направлены на населенные пункты.

Объектом исследования является снежный покров 2012/2013 и 2013/2014 гг. В Братске в среднем за год выпадает 369 мм осадков, из которых

25 % приходится на холодный период и 75 % – на теплый [13]. Пробы отобраны перед активным снеготаянием в начале марта 2013 и 2014 гг. по всей высоте снежного покрова по общепринятым методическим указаниям Росгидромета [14]. В начале марта 2013 г. отобрано 30 проб и в начале марта 2014 г. – 70 проб.

Методы исследования

Количество точек и выбор места отбора проб снежного покрова определяются необходимостью получения достоверной информации об области рассеивания промышленных выбросов, в данном случае для построения карт изолиний pH и удельной электропроводности. Высота рельефа и точки отбора регистрировались с помощью GPS навигатора. Подготовка проб к химическим анализам проводилась в аккредитованной химической лаборатории Братска и включала таяние снега при комнатной температуре, фильтрацию снеговой воды через бумажный фильтр или мембранные фильтры с диаметром 0,2 мкм (ФМАЦ-0,2-Ø47-11107, ВЛАДИСАРТ, ацетат целлюлозы) в зависимости от целей анализа, высушивание взвеси. Электропроводность фильтрата снежного покрова параллельно измеряли стационарным кондуктометром «Эксперт-002» и портативным кондуктометром «HANNA DIST WP 1» при комнатной температуре, в единицах измерения мкСм/см. Микроэлементный состав фильтрата снеговой воды снежного покрова измеряли на квадрупольном ICP-MS масс-спектрометре Agilent 7500се методом индуктивно связанной плазмы (ИСП-МС).

Результаты и обсуждение

Известно, что величина pH атмосферных осадков и снеговой воды обусловлена в основном присутствием в атмосфере оксидов азота, углерода, серы, pH чистых атмосферных осадков находится в интервале 5,5–6,5 [8, 9]. Электропроводность водных растворов определяется ионным составом, в том числе наличием ионов, обладающих малым ионным радиусом и другими свойствами [15]. На основании данных 2013 и 2014 гг. установлены невысокие коэффициенты аппроксимации между pH и удельной электропроводностью фильтрата в зоне выбросов, как в жилых (рис. 1, а, в), так и промышленных районах Братска (рис. 1, б, г), эта связь опосредована через химический состав. Высокие коэффициенты аппроксимации между pH и χ отмечены, если отдельно не рассматривать жилые и промышленные районы, а рассмотреть совместные данные (рис. 1, ж, з)

Величина pH снежного покрова в жилых районах находится в интервале 5,5–7,7 (рис. 1, а, в), в промышленных – 6,0–7,5 (рис. 1, б, г) практически не отличается, возможно, это связано с тем, что жилые районы находятся недалеко от промышленных предприятий. Так, в Братске целлюлозно-бумажный комбинат (БЛПК) расположен в 2 км от города. Жители Центрального района

Братска ощущают специфический запах выбросов серосодержащих соединений БЛПК ежедневно, соединения фтора (БрАЗ) не имеют запаха, но негативно влияют на человека. По мнению авторов [16], максимальные значения pH – 7,65 и 7,94 наблюдаются в зоне воздействия выбросов предприятий ОАО Группа «Илим» (БЛПК). Возможно, что высокая величина pH в снежном покрове районов исследования обусловлена применением соединений натрия в производстве целлюлозы, использованием каустической соды в технологии «мокрой» газоочистки выбросов на БрАЗе. Известно [17], что в некоторых районах страны натрия в атмосфере может быть морского происхождения. В Братске в фильтрате снежного покрова натрия связан с серой ($R=0,95$), хлором ($R=0,74$), калием ($R=0,97$), кальцием ($R=0,81$), фтором ($R=0,85$), но не связан с алюминием ($R=0,9$) в соответствии с установленными коэффициентами парной корреляции. Содержание натрия в фильтрате на расстоянии 27 км от БрАЗа 1,30 мг/л, что в 4 раза больше, чем в фильтрате снежного покрова регионального фоновый район (Тункинская долина, урочище Бада-ры, улус Улбугай), содержание хлора в Братске (0,51 мг/л) сравнимо с содержанием хлора в Тункинской долине (Байкальский регион). Содержание натрия в снежном покрове Братска находится в интервале от 1 до 25 мг/л (в том числе в санитарно-защитных зонах), хлора – от 0,5 до 2 мг/л, определение доли природного натрия требует дополнительных расчетов. В связи с тем, что известна классификация атмосферы по степени загрязнения коррозионно-активными веществами в зависимости от содержания диоксида серы и хлора [11], мы и рассматриваем характеристики распределения серы и хлора, т. к. соединения серы присутствуют в сырье для технологических процессов промышленной площадки Братска.

Возможно, выбросы натрийсодержащих соединений предотвращают закисление атмосферных осадков, которое обычно связано с выбросами таких основных загрязнителей, как оксиды серы, азота, углерода, которые образуются всегда при сжигании углеводородного топлива (бензин, дизель и т. д.) и угля (БЗФ, ТЭЦ), угольных анодов (БрАЗ).

По данным анализа фильтрата снеговой воды 2013 г. установлена корреляция величины pH (рис. 2) и содержания S, Rb, Cl, Ga, K, Na, Ca, Cs, Cr, As. (табл. 1).

Присутствие ионов Na, S, Cl, K, Ca, Ga в снежном покрове связано с составом сырья для производства первичного алюминия, целлюлозно-бумажного комбината Соединения хлора входят в состав технологического сырья БЛПК. В связи с тем, что основными элементами сырья на БрАЗе являются также алюминий и магний, на заводе ферросплавов – кремний, рассмотрена корреляция между pH и этими элементами. Установлено, что отсутствует корреляция между pH и Si ($R=0,36$), Al ($R=0,34$), Mg ($R=0,1$).

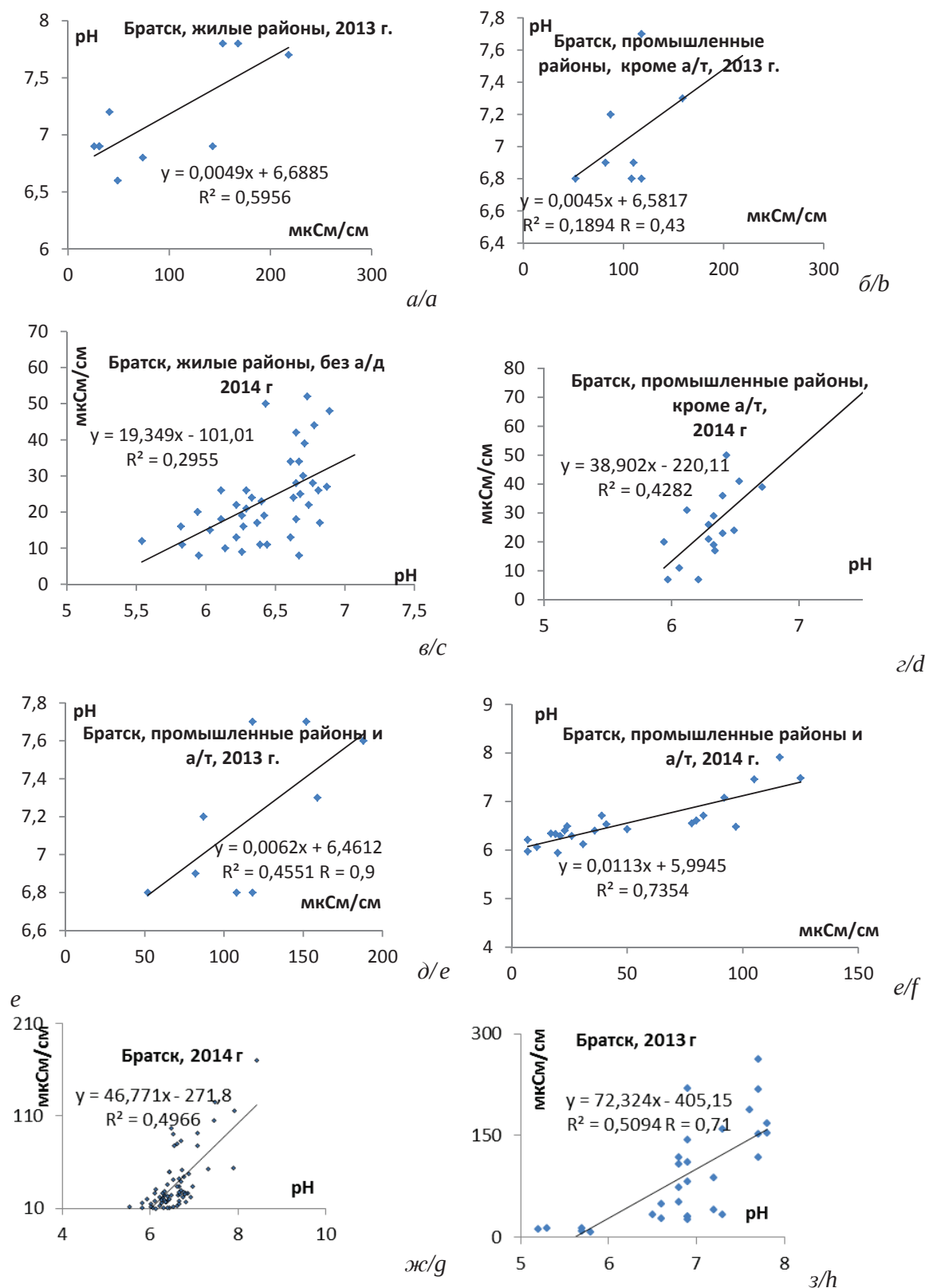
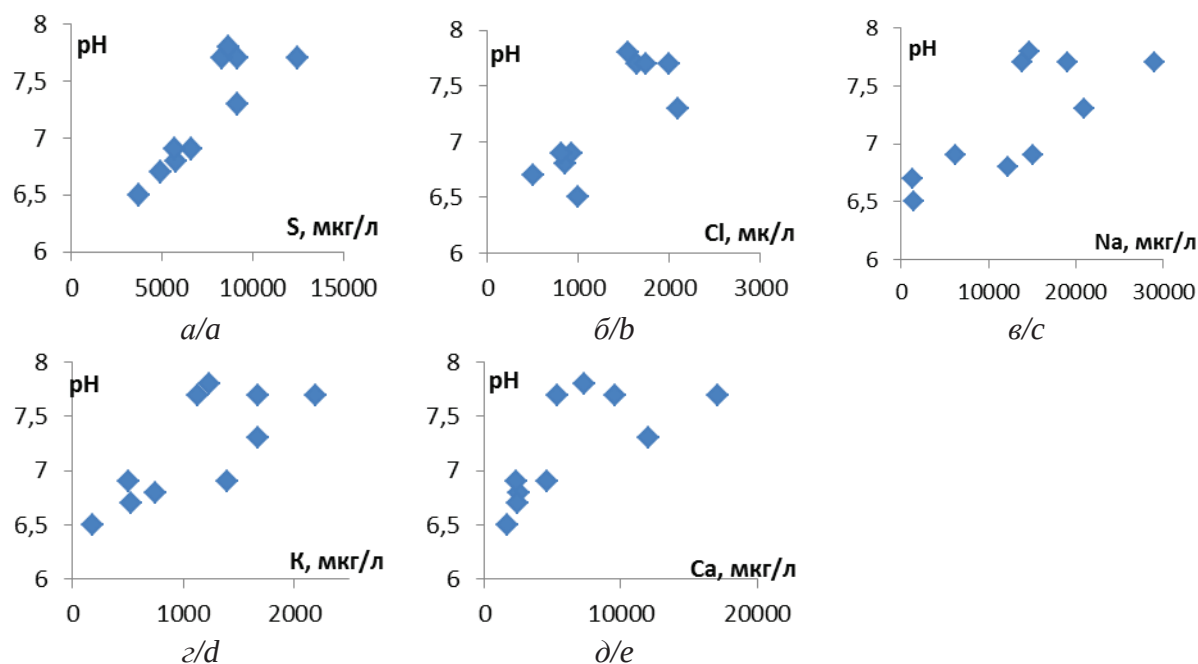
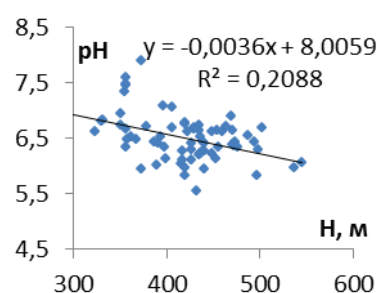


Рис. 1. (а, б, в, г) Корреляция pH и электропроводности (мкСм/см) в фильтрате снежного покрова, отобранного в жилых (а, в) и промышленных районах, кроме точек отбора, приближенных к автотрассам (б, в, г), и с учетом отбора снежного покрова вдоль автомобильных трасс (а/т) – автомобильных дорог (а/д) (д, е), во всех районах исследования (ж, з)

Fig. 1. (a, b, c, d) pH correlation and conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in filtrate of snow cover taken in residential areas (a, c), in industrial areas, except the points close to speedways (b, c, d) and considering snow cover samples along the vehicle roads (e, f) in all the under study areas

Таблица 1. Коэффициенты парной корреляции между pH, электропроводностью и содержанием Rb, K, S, Cs, Ga, Cr, Ca, Na, As, Cl, Pb в фильтрате снежного покрова, Братск, 2013 г.**Table 1.** Pair correlation coefficient between pH, electric conductivity, chlorine, sulfur and contents of Rb, K, S, Cs, Ga, Cr, Ca, Na, As, Cl, Pb in snow cover filtrate, Bratsk, 2013

Элемент Element	Rb	K	S	Cs	Ga	Cr	Ca	Na	As	Cl	Pb	χ , мкСм/см	pH
χ , мкСм/см	0,99	0,76	0,95	0,90	0,87	0,80	0,76	0,94	0,73	0,72	-0,70	1	0,84
pH	0,80	0,73	0,85	0,67	0,76	0,56	0,69	0,72	0,50	0,79	-0,66	0,84	1

**Рис. 2.** (а, б, в, г, д) Изменение pH от содержания S (а), Cl (б), Na (в), K (г), Ca (д) в фильтрате снежного покрова**Fig. 2.** (a, b, c, d, e) Dependence of pH change on content of S (a), Cl (b), Na (c), K (d), Ca (e) in snow cover filtrate**Рис. 3.** Зависимость pH снежного покрова от высоты рельефа**Fig. 3.** Dependence of snow cover pH on relief height

По данным 2013, 2014 гг. величина χ снежного покрова в жилых и промышленных районах находится в интервале 10–100 (рис. 1, а–г), в 10–200 (рис. 1, б, г), наибольшие значения χ 140–200 мкСм/см отмечаются в снежном покрове вдоль автомобильных трасс и дорог (рис. 1, д, е).

В работах [8, 9] указано, что фоновая станция Байкальского региона расположена на о. Хужир озера Байкал. Удельная электропроводность осад-

ков равна 24,0 мкСм/см. По данным [8, 9], в Братске (метеостанция БЦГМС в п. Падун) с 2000 по 2005 гг. χ составила 27, 20, 24, 24, 33 мкСм/см и 6,4; 6,5; 6,5; 6,7; 6,6 pH, соответственно.

Влияние высоты рельефа на распределение выбросов можно отметить при изучении отдельного высотного природного объекта – горы Моргудон.

Отмечено, что на доступной вершине горы в фильтрате снеговой воды регистрируются наиболее высокие значения электропроводности и концентрации фтора, алюминия по сравнению с пробами, отобранными на склонах (табл. 2).

Для построения карт изолиний электропроводности фильтрата снежного покрова использовался метод естественного соседства, известный также как интерполяция Сибсона (Sibson) [18]. Результатом интерполяции является грид-поверхность, по которой в дальнейшем были построены изолинии удельной электропроводности с интервалом 10 мкСм/см (рис. 4). Также на картосхеме отображены области изменения электропроводности, локальные максимумы электропроводности, соответствующие точкам отбора проб с максимальны-

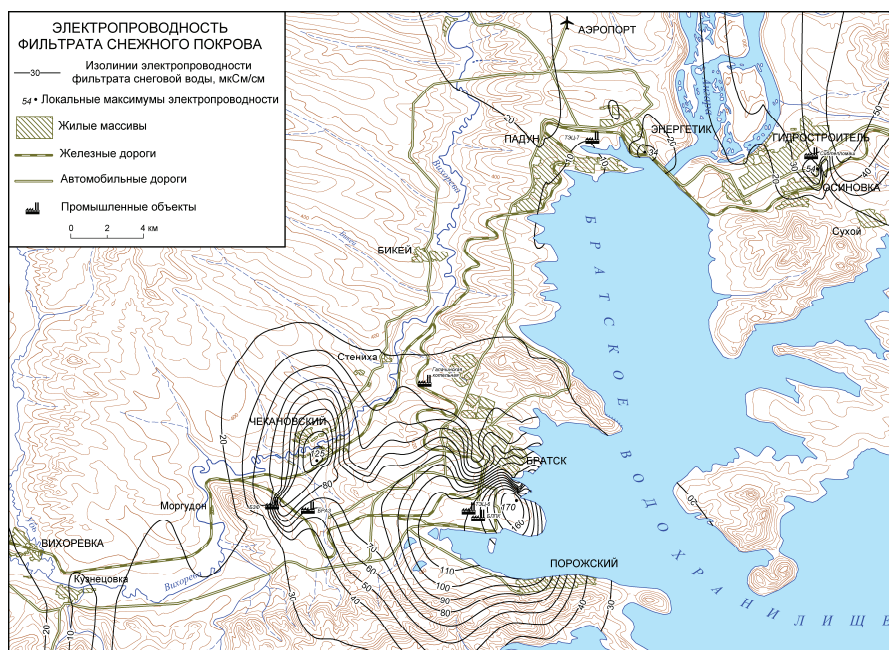


Рис. 4. Карта изолинии удельной электропроводности фильтрата снеговой воды, с интервалом 10 мкСм/см, г. Братск, 2014 г.

Fig. 4. Map of isolines of specific electric conductivity of snow cover filtrate with the range of 1 μ S/cm, Bratsk, 2014

ми значениями и приуроченные к промышленным объектам – источникам загрязнения. Область изменения χ в снежном покрове отражает область распространения промышленных выбросов, и в этих областях есть риск атмосферной коррозии для техногенных объектов.

Таблица 2. pH, χ , содержание F, Al в фильтрате снежного покрова горы Моргудон

Table 2. pH, χ , F, Al content in snow cover filtrate of the mountain Morgudon

Место отбора Sampling point	H, м	EC, мкСм/см	F, мг/л	Al, мг/л
Середина склона, подъем вверх Middle of the hill-side, upgrate	397	19	3,32	0,640
Доступная вершина Negotiable peak	476	29	9,03	2,300
Середина склона, спуск с вершины с другой стороны горы Middle of the hill, descent from the top on the other side of the mountain	356	17	2,64	0,560

Карты позволяют оценить область и площади рассеивания выбросов отдельного предприятия, в перспективе проводить ежегодную динамику площадей выбросов, устанавливать корреляцию с ка-

чеством жизни населения [19], оценивать эффективность природоохранных мероприятий промышленных объектов [20].

Выводы

Установлено изменение удельной электропроводности, pH снежного покрова обусловленное промышленными выбросами, отраженными ионным составом фильтрата снежного покрова; установлена корреляционная связь между pH и удельной электропроводностью, представленная коэффициентами парной корреляции; установлено влияние рельефа на рассеивание выбросов, на примере одного природного высотного объекта; впервые построена карта удельной электропроводности фильтрата снежного покрова в районе Братска.

Автор благодарит научного консультанта д-ра техн. наук, профессора ИрГТУ А.Н. Баранова за координацию работ, ценные советы, старшего научного сотрудника института географии СО РАН канд. геогр. наук А. Бардаш за построение карты изолиний электропроводности в снежном покрове, ведущего инженера Лимнологического института СО РАН Е. Водневу за аналитические исследования.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственное задание 127, 2014 год), ОАО «РУСАЛ Братский алюминиевый завод».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К вопросу о региональном и локальном уровне загрязнения атмосферы / С.М. Абдуллаев, И.В. Грачева, Ю.А. Сапельцева и др. // Вестник Челябинского государственного университета. – 2010. – № 8 (189). – С. 5–10.
2. The pH value and electrical conductivity of atmospheric environment from ice cores in the Tianshan Mountains / Zhiwen Dong, Mingjun Zhang, Zhongqin Li, Feiteng Wang, Wenbin Wang // Journal of Geographical Sciences. – 2009, August. – V. 19. – Iss. 4. – P. 416–426.
3. Characteristics and environmental significance of pH and EC in summer rainfall and shallow firn profile at Yulong Snow Mountain / Zongxing Li, Yuanqing He, W.H. Theakstone, Wenxiong Jia, Huijuan Xin, Wei Zhang, Jing Liu, Shuxin Wang // Journal of Earth Science. – 2010, April. – V. 21. – Iss. 2. – P. 157–165.
4. Satyawali P.K., Singh A.K. Dependence of thermal conductivity of snow on microstructure // Journal of Earth System Science. – 2008, August. – V. 117. – Iss. 4. – P. 465–475.
5. Adams E.E., Brown R.L. A mixture theory for evaluating heat and mass transport processes in nonhomogeneous snow // Continuum Mechanics and Thermodynamics. – 1990. – V. 2. – Iss. 1. – P. 31–63.
6. Zhekamukhov M.K., Shukhova L.Z. Convective instability of air in snow // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 1999, November–December. – V. 40. – Iss. 6. – P. 1042–1047.
7. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 182 с.
8. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Полищук А.И. Ежегодные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1996–2000 гг. (обзор данных). – М.: Метеоагентство госгидромета, 2006. – 227 с.
9. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Полищук А.И. Ежегодные данные по химическому составу атмосферных осадков за 2001–2005 гг. (обзор данных). – М.: Метеоагентство госгидромета, 2010. – 128 с.
10. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области за 2012 год». – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2013. – 337 с.
11. Баранов А.Н., Янченко Н.И., Гусева Е.А. Исследование влияния выбросов фторидов на коррозию стали в снеговой воде // Перспективы развития технологии переработки углеводородсодержащих растительных и минеральных ресурсов: Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. с международным участием. – Иркутск, 21–22 апреля 2011. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. – С. 40–42.
12. Кудринская Г.Б. Качество атмосферного воздуха на территории Иркутской области по результатам мониторинга Иркутского УГМС. URL: <http://irkugms.uscoz.ru/publ/> (дата обращения: 07.08.2012).
13. Климат Братска / под ред. Ц.А. Швер, В.Н. Бабиченко. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 168 с.
14. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186–89. – М., 1991. – 683 с.
15. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Основы теоретической электрохимии. – М.: Высшая школа, 1978. – 239 с.
16. Игнатенко О.В., Мещерова Н.А. Оценка загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами на селитебной территории г. Братска // Эколого-биологические проблемы Сибири и сопредельных территорий: Матер. 2-ой науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гум. ун-та, 2011. – С. 236–239.
17. Котова Е.И. Оценка влияния местных источников загрязнения и дальнего переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора Арктики: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Ростов-на-Дону, 2013. – 23 с.
18. Sibson R. A brief description of natural neighbor interpolation. Ch. 2. / V. Barnett. Interpreting Multivariate Data. – Chichester: John Wiley, 1981. – P. 21–36.
19. Иванова Э.В., Быкова В.В., Осипова Н.А. Оценка риска для здоровья населения при воздействии химических веществ загрязняющих атмосферу // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 19. – № 11. – С. 965–968.
20. Янченко Н.И., Баранов А.Н. Параметры распределения фтора, серы и натрия в Байкальском регионе при производстве алюминия // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2010. – № 2. – С. 56–62.

Поступила 31.05.2014 г.

UDC 87.17

FEATURES OF CHANGING pH VALUE AND CONDUCTIVITY OF SNOW COVER IN BRATSK

Natalia I. Yanchenko,

Dr. Sc., Irkutsk State Technical University, 83, Lermontov Street, Irkutsk,
664074, Russia; Baikal State University of Economics and Law, 11, Lenin street,
Irkutsk, 664003, Russia. E-mail: fduecn@bk.ru

Relevance of the research is defined by the necessity to obtain real information on atmosphere state and discharge precipitation area based on investigation of physical and chemical properties of Bratsk snow cover.

Objective: to study the features of changing pH and conductivity considering chemical composition of snow cover filtrate in industrial emission area.

Methods: snow sampling by Hydrometeorology technique, mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS), potentiometry, conductivity.

Results: According to the results of snow chemical survey within Bratsk the author has found out changes in specific conductivity and snowpack pH caused by industrial emissions. Industrial emissions in Bratsk are caused by production of primary aluminum, ferroalloys, cellulose, as well as power engineering and transport. Snow cover pH in residential sector of Central Bratsk is in the range of 5,5–7,7, in the region of the main industrial areas it is of 6,0–7,5. The author determined the coefficients of simple correlation between pH and conductivity, content of Rb, K, S, CS, Ga, Cr, Ca, Na, As, Cl, Pb in snow cover filtrate. Change of these values depends on motor vehicles and industrial plants emissions. The specific conductivity of snow cover in residential and industrial areas is in the range of 10–200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, the highest values of χ 140–200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ occur near the roads. It is noted that on the top of the mountain with the height of about 476 m the highest values of electrical conductivity and concentration of fluoride, aluminum are recorded in snow water filtrate in comparison with the samples taken on the slopes. For the first time the author mapped the contours of snow filtrate conductivity near Bratsk, with an interval of 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The map displays the conductivity change, the local maxima of electrical conductivity corresponding to sampling points with the highest values and dedicated to industrial sites – sources of pollution. The range of variation of snow filtrate conductivity reflects the area of industrial emissions distribution. There is a risk of atmospheric corrosion for man-made objects in these areas.

Key words:

Snow cover, specific conductivity, pH, residential and industrial areas, atmosphere.

The author appreciates Dr. Sc. A.N. Baranov – the scientific adviser, professor of IrGTU, for coordination, valuable advice; Cand. Sc. A. Bardash – senior research assistant of the Institute of Geography SB RAS, for mapping electric conductivity isolines in snow cover; E. Vodneva – leading engineer of Limnological Institute SB RAS, for analytical investigations.

The research was partially financially supported by the Ministry of Education and Science of the RF (State task 127, 2014) and «RUSAL Bratsk aluminum plant».

REFERENCES

1. Abdullaev S.M., Gracheva I.V., Sapeltseva Yu.A. K voprosu o regionalnom i lokalnom urovne zagryazneniya atmosfery [On the issue of regional and local level of atmosphere pollution]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, no. 8 (189), pp. 5–10.
2. Zhiwen Dong, Mingjun Zhang, Zhongqin Li, Feiteng Wang, Wenbin Wang. The pH value and electrical conductivity of atmospheric environment from ice cores in the Tianshan Mountains. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, August, vol. 19, Iss. 4, pp. 416–426.
3. Zongxing Li, Yuanqing He, Wilfred H. Theakstone, Wenxiong Jia, Huijuan Xin, Wei Zhang, Jing Liu, Shuxin Wang. Characteristics and environmental significance of pH and EC in summer rainfall and shallow firn profile at Yulong Snow Mountain. *Journal of Earth Science*, 2010, April, vol. 21, Iss. 2, pp. 157–165.
4. Satyawali P. K., Singh. A. K. Dependence of thermal conductivity of snow on microstructure. *Journal of Earth System Science*, 2008, August, vol. 117, Iss. 4, pp. 465–475.
5. Adams E.E., Brown. R.L. A mixture theory for evaluating heat and mass transport processes in nonhomogeneous snow. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 1990, vol. 2, Iss. 1, pp. 31–63.
6. Zhekamukhov M.K., Shukhova L.Z. Convective instability of air in snow. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 1999, November–December, vol. 40, Iss. 6, pp. 1042–1047.
7. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. *Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova* [Monitoring snow cover pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 182 p.
8. Svistov P.F., Pershina N.A., Polishchuk A.I. *Ezhegodnye dannye po khimicheskomu sostavu atmosferynykh osadkov za 1996–2000 gg. (obzor dannykh)* [Annual data on chemical composition of atmosphere precipitations for 1996–2000 (data review)]. Moscow, Meteoagenstvo gosgidrometa Publ., 2006. 227 c.
9. Svistov P.F., Pershina N.A., Polishchuk A.I. *Ezhegodnye dannye po khimicheskomu sostavu atmosferynykh osadkov za 2001–2005 gg. (obzor dannykh)* [Annual data on chemical composition of atmosphere precipitations for 2001–2005 (data review)]. Moscow, Meteoagenstvo gosgidrometa Publ., 2010. 128 p.
10. Gosudarstvenny doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Irkutskoy oblasti za 2012 god» [State report «The state and protection of environment of Irkutsk region for 2012»]. Irkutsk, Institute of Geography named after V.B. Sochavy SB RAS Press, 2013. 337 p.
11. Baranov A.N., Yanchenko N.I., Guseva E.A. Issledovanie vliyaniya vybrosov fluoridov na korroziyu stali v snegovoy vode [Studying emission effect of fluoride emission on steel corrosion in snow water]. *Perspektivy razvitiya tekhnologii pererabotki uglevodorod-soderzhashchikh rastitelnykh i mineralnykh resursov: Materialy Vserossiiskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Prospects of developing processing hydrocarbon-containing vegetable and mineral raw materials. Proc. All-Russian research conference with international partici-

- pation]. Irkutsk 21–22 April 2011. Irkutsk, IRGTU Press, 2011. pp. 40–42.
12. Kudrinskaya G.B. *Kachestvo atmosfernogo vozdukh na territorii Irkutskoy oblasti po rezul'tatam monitoringa Irkutskogo UGMS* [Quality of atmospheric air in Irkutsk region by the results of monitoring of Irkutsk IGMS]. Available at: <http://irkugms.ucoz.ru/publ/> (accessed 7 August 2012).
13. *Klimat Bratska* [Climate in Bratsk]. Eds. Ts.A. Shver, V.N. Babichenko. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985. 168 p.
14. *Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery. RD 52.04.186–89* [Atmosphere pollution control manual]. Moscow, 1991. 683 p.
15. Damaskin B.B., Petriy O.A. *Osnovy teoreticheskoy elektrokhemii* [Bases of theoretical electrochemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1978. 239 p.
16. Ignatenko O.V., Meshcherova N.A. Otsenka zagryazneniya snezhnogo pokrova tyazhelymi metallami na selitebnoy territorii g. Bratska [Estimation of snow cover pollution with heavy metals in Bratsk residential area]. *Ekologo-biologicheskie problemy Sibiri i sopredelnykh territoriy: Materialy 2 nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Ecological and biological problems of Siberia and adjacent territories. Proc. II research conference with international participation]. Nizhnevartovsk, Nizhnevartovsk Humanitarian University Press, 2011. pp. 236–239.
17. Kotova E.I. *Otsenka vliyaniya mestnykh istochnikov zagryazneniya i dalnego perenosa na formirovanie ionnogo sostava atmosferykh osadkov i snezhnogo pokrova pribrezhnoy zony zapadnogo sektora Arktiki. Avtoreferat Dis. Kand. nauk* [Evaluation of influence of local pollution sources and long-range transport on ion composition formation in atmospheric precipitation and snow cover in near-shore zones of Arctic western sector. Cand. Diss. Abstract]. Rostov-na-Donu, 2013. 23 p.
18. Sibson R. A brief description of natural neighbor interpolation. Ch. 2. In V. Barnett. *Interpreting Multivariate Data*. Chichester, John Wiley, 1981. pp. 21–36
19. Ivanova E.V., Bykova V.V., Osipova N.A. Otsenka riska dlya zdorovya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh atmosferu [Risk assessment for population health at effect of chemicals polluting atmosphere]. *Optika atmosfery i okeana*, 2006, vol. 19, no. 11, pp. 965–968.
20. Yanchenko N.I., Baranov A.N. Parametry raspredeleniya ftora, sery i natriya v Baykalskom regione pri proizvodstve alyuminiya [Parameters of fluoride, sulfur and sodium distribution in Baikal region when producing aluminum]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tsvetnaya metallurgiya*, 2010, no. 2, pp. 56–62.

Received: 31 May 2014.