

6. Akhtyamova G.G., Yanin E.P., Tatsiy Yu.G. The contribution of anthropogenic factor in contamination of sediments River basin smell of mercury. In: *Actual Problems of Ecology and Environmental Management: Collection of Scientific Papers [Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya: sbornik nauchnykh trudov]*. Moscow, 2011: 22–6. (in Russian)
7. Zilov E.A. *Hydrobiology and Aquatic Ecology (the organization and functioning of aquatic ecosystems): Tutorial [Gidrobiologiya i vodnaya ekologiya (organizatsiya, funktsionirovanie i zagryaznenie vodnykh ekosiste): uchebnoe posobie]*. Irkutsk; 2008. (in Russian)
8. Mamyrbayev A.A. *Toxicology of Chromium and its Compounds [Toksikologiya khroma i ego soedineniy]*. Aktobe; 2012. (in Russian)
9. Fedotova I.V. Mercury contamination of the environment in the extraction of alluvial gold saralinskogo gold district of the Republic of Khakassia. In: *Proceedings of IV All-th Scientific-practical. Conference dedicated to the 130th anniversary of the birth of the first head. Department. PGSGA geography, prof. K.V. Polyakova [Materialy IV vsrossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii posvyashchennoy 130-letiyu so dnya rozhdeniya pervogo zaveduyushchego kafedroy geografii PGSGA, prof. K.V. Polyakova]*. Samara; 2013: 249–52. (in Russian)
10. Lavrinenko A.V., Ilyasova G.H. Accumulation of heavy metals in shellfish Volga delta. *Estestvennye nauki*. 2010; 4 (33): 18–20. (in Russian)
11. Minakova V.V. *Bivalves Genera Unio and Anodonta - Components of Biological Resources of the River. Ural and their Participation in the Processes of Regulation of Llysozyme Bacteriocenosis: Diss.* Orenburg; 2005. (in Russian)
12. Stravinskene E.S. *The Problem of Bioavailability of Heavy Metals in Environmental Monitoring of Natural Waters: Diss.* Krasnoyarsk; 2012. (in Russian)
13. Lukashov D.V. Distribution of heavy metals in the organs of molluscs Anodonta anatina under Incoming wastewater. *Gidrobiologicheskii zhurnal*. 2009; 45(5): 98–109. (in Russian)
14. Dedyu I.I. *Environmental Encyclopedic Dictionary [Ekologicheskii entsiklopedicheskiy slovar']*. Kishinev; 1989. (in Russian)
15. SanPin 42-123-4089-86. Maximum allowable concentrations of heavy metals and arsenic in food raw materials and food products № 4089-86. Moscow; 1986. (in Russian)

Поступила 18.06.14

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2015

УДК 631.483; 613.95

Степанова Н.В., Валеева Э.Р., Фомина С.Ф.

ПОДХОДЫ К РАНЖИРОВАНИЮ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ ПО УРОВНЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Институт фундаментальной медицины и биологии, 420012, Казань, Россия

Проведено ранжирование городской территории по уровню загрязнения тяжелыми металлами с выделением на территории Казани четырех зон: I – Дербышки; II – Теплоконтроль; III – Горки; IV – Кировский район. Загрязненность снежного покрова городской территории определяли по коэффициентам загрязнения, рассчитанным с использованием ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Вся изученная территория Казани слабо загрязнена марганцем. Биологический мониторинг волос детей является информативным дополнительным методом оценки сложившейся экологической ситуации по тяжелым металлам на отдельных территориях города.

Ключевые слова: тяжелые металлы; снежный покров; почва; городская среда; биологический мониторинг.

Для цитирования: Гигиена и санитария. 2015; 94(5): 56-61.

Stepanova N.V., Valeeva E.R., Fomina S.F. APPROACHES TO URBAN AREA RANKING ACCORDINGLY TO THE LEVEL OF HEAVY METAL POLLUTION

Kazan (Volga Region) Federal University, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan, Russian Federation, 420012

Urban area ranking was performed according to the level of the heavy metal pollution based on the data of the snow and soil chemical characteristics. With reference to cumulative rates of the snow cover and soil pollution by heavy metals in the territory of the city of Kazan there were selected four areas: I - Derbyshki; II - Teplocontrol; III - Gorki; IV- Kirovsky district. The pollution level of snow cover in the territory of the city was determined by pollution level indices calculated with the application of Maximum Permissible Concentration (MPC) of chemical substances in ambient waters for household and recreational and service facilities use. The assessment of the pollution level in soils in the city showed the total territory of Kazan to be mildly polluted by manganese, concerning other heavy metals the categories of the soil pollution vary on areas. Results of hair biological monitoring in children are an informative auxiliary tool for the evaluation of the present ecological situation concerning heavy metals in certain territories of the city.

Key words: heavy metals; snow cover; soil; urban environment; biological monitoring.

Received 15.04.15

Citation: Gigena i Sanitariya. 2015; 94(5): 56-61. (In Russ.)

Казань – крупный индустриальный центр, на его территории размещены десятки промышленных предприятий машиностроительного, энергетического, химиче-

ского профиля, развита напряженная внутригородская автотранспортная сеть. В городе к числу загрязнителей стабильно относятся тяжелые металлы (ТМ).

На сегодняшний день ранжирование городской территории по уровню загрязнения тяжелыми металлами представляет определенную сложность. Существующий в республике банк данных программного продукта «Ох-

Для корреспонденции: Степанова Наталья Владимировна, stepmed@mail.ru

For correspondence: Stepanova N.V., stepmed@mail.ru.

рана атмосферного воздуха» Министерства экологии и природных ресурсов РТ позволяет проанализировать сводные отчеты статистической отчетности 2-ТП-воздух по выбросам специфических веществ, в том числе ТМ, в Казани за последние 10 лет. Однако данный подход является искусственным, объединяя относительно экологически чистые участки городской среды и неблагоприятные в один механически созданный массив. Тем более что существующие стационарные посты наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха расположены не во всех районах города, большей частью вдоль автомобильных дорог, преимущественно оценивая локальное загрязнение воздуха автотранспортом и судить о фактическом состоянии дел практически невозможно. В последнее время для зонирования городских территорий весьма активно используют результаты снегахимической съемки, так как снег считается надежным индикатором загрязнения, консервирующим почти весь объем выпавший из атмосферы за зимний период. По результатам наблюдений [1, 2], концентрация загрязняющих веществ в снегу оказывается на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе. Однако оценка техногенной нагрузки по этим данным до сих пор считается проблематичной из-за отсутствия надежных реперов для определения фоновых содержаний. При исследовании загрязнений снежного покрова ТМ чаще всего ограничиваются определением их концентрации в снеговой воде [3, 4].

Цель исследования – ранжирование городской территории по уровню загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова, почвы, а также исследования содержания тяжелых металлов в волосах детей в выделенных зонах города.

Материалы и методы

Степень загрязнения городской среды ТМ изучали методом снегахимической съемки. Исследования в Казани проведены по результатам экспедиционных данных Института проблем экологии и недропользования АН РТ в соответствии с существующими нормативными документами [5]. Анализ снеговых проб на содержание тяжелых металлов выполнен в сертифицированной Центральной специализированной инспекции аналитического контроля Министерства экологии и природных ресурсов РТ методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной и электротермической атомизацией (ААС). Загрязненность снежного покрова городской территории определялась по коэффициентам загрязненности, рассчитанным с использованием регламентов для воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. При суммировании коэффициентов загрязнения можно получить суммарный коэффициент загрязнения, который характеризует общую степень загрязнения территории в месте отбора проб, что дает возможность выделять на территории города районы с разным уровнем загрязнения ТМ [6]. Оценку загрязненности почвы проводили в соответствии с СанПиН «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» (2003), ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» и МУ «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест» (1999) по коэффициентам концентрации отдельных металлов (K_c) и суммарным коэффициентам загрязнения (Z_c). Отбор проб волос проводили по унифицированной методике у 110 детей 8–10 лет, отнесенных к 1 и 2 группам здоровья и проживающих в выделенных зонах города. Определение химических элементов в волосах детей проводили

методами ИСП-АЭС и ИСП-МС в АНО «Центр биотехнической медицины».

По результатам снегомерных съемок метеостанции «Казань» в период 1937–2012 гг. максимальные запасы снега в Казани колебались от 44 мм (1954 г.) до 260 мм (1976 г.), а в различных точках на территории города, например в 1999 г., этот показатель варьировал от 50 мм до 400 мм, а в 2012 – от 200 мм до 570 мм. Средний максимальный запас, который иногда называют «фоновым» запасом снега, выведенный на основании многолетних наблюдений, для Казани составляет 170 мм или 170 кг/м². В соответствии с таким подходом концентрации элементов в снеговой воде характеризуют чистоту снега, но не позволяют дать оценку динамике загрязнения городского ландшафта и определить степень ее опасности для человека и экосистем. Для оценки содержания ТМ (Cd, Pb, Cu, Zn, Co, Ni, Cr) в растворимой фракции и твердом осадке снега использовали коэффициенты техногенной концентрации (K_c) по сравнению с фоном [6, 8]:

$$K_c = C_i / C_{K1},$$

где K_c – коэффициент концентрации; C_i – концентрация элемента в твердом осадке снега, отобранного в черте города; C_{K1} – концентрация элемента в твердом осадке снега фоновой территории (K1). Фоновые участки выбирают на территориях, не подвергающихся загрязнению или испытывающих его в минимальной мере. Для определения степени полиэлементного загрязнения снежного покрова использовали суммарный показатель загрязнения:

$$Z_c = \sum K_{ci} - (n-1),$$

где Z_c – показатель суммарного загрязнения; K_{ci} – коэффициенты концентрации элементов, n – число определяемых ТМ. Однако фоновый подход к оценке степени загрязненности снежного покрова имеет ряд недостатков, поскольку произволен выбор участка для отбора проб, значения фоновых показателей зависят от характера метеоусловий и ежегодно изменяются в связи с полной сменой снежного покрова (в наших исследованиях фоновые показатели отдельных металлов различных лет отличались в несколько раз), отсутствует возможность определить реальное количество загрязняющего вещества на единице территории [6]. Важно и то, что при расчете суммарного коэффициента концентраций ТМ не принимается во внимание класс токсичности элементов. В связи с изложенным, мы считаем, что при изучении загрязненности снежного покрова фоновый метод оценки в «чистом» виде практического значения не имеет. Более информативным представляется определение массы загрязняющих веществ на единицу площади за определенный период времени, что сводит к минимуму неопределенности, обусловленные пространственной и временной изменчивостью снежного покрова. По концентрации элемента в снеговой воде (мкг/л), высоте снежного покрова и его плотности на данной площади определяют его содержание в массе снега, находящегося на 1 м² территории и поступление вещества на всю исследуемую территорию в течение определенного периода (табл. 1).

Однако и при этом методе оценки результатов анализа снежного покрова на ТМ невозможно определить степень опасности для экосистем. Более рационально при оценке загрязненности снежного покрова использовать показатель превышения над регламентом, установленным для данного объекта. Однако в настоящее время предельно допустимая концентрация (ПДК) химических

Таблица 1

Поступление тяжелых металлов (водорастворимая форма) в снежный покров Казани в 2006–2012 гг. (кг/200 км ² 5 мес)							
Элемент	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Кадмий	23,6	12	12	Н/д	101	331	44
Кобальт	20	14	20	Н/д	58	Н/д	613
Марганец	-	-	-	114	336	350	235
Медь	282	74	379	157	171	270	428
Никель	57	92	209	172	1473	120	165
Свинец	86	-	24	37	290	27	418
Хром	93	64	129	59	360	-	185
Цинк	713	771	770	1823	426	884	1258
Всего...	1275	1027	1573	2362	3215	1682	3346

веществ в снеге не определена. В то же время снег является индикатором загрязнения как атмосферного воздуха, так и последующего загрязнения поверхностных, подземных вод, почв и растительности. Так, талые воды, поступающие в реки в период весеннего половодья, составляют до 80% общего питания для большинства рек Республики Татарстан. Данное обстоятельство позволяет использовать ПДК для любых из перечисленных объектов. В связи с тем, что количество воды и снега выражают в одинаковых единицах, удобнее использовать ПДК для воды. Вместе с тем прямое использование ПДК для оценки степени загрязнения снежного покрова нецелесообразно, так как необходим учет массы снега и показателя, характеризующего выпадение вещества на единицу площади за определенное время. Была предпринята попытка совместить показатель, отражающий токсичность вещества, с единицей площади, на которую оно поступает. В качестве обобщенного показателя был предложен ПДП (предельно допустимое поступление вещества в снежный покров), который показывает количество вещества, поступающего на определенную площадь в единицу времени в концентрациях, не превышающих установленные регламенты. Он рассчитывается по формуле:

$$\text{ПДП} = \text{ПДК} \cdot m_{\text{ср}} \cdot \text{время}$$
, где $m_{\text{ср}}$ – средняя масса снега на единицу площади, обследованной к моменту отбора проб. В дальнейшем рассчитывали коэффициенты загрязнения. Как известно, ПДК металлов для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения установлены не только по санитарно-токсикологическим, но и по органолептическим показателям, поэтому коэффициенты ПДП, полученные с использованием ПДК для этих вод, обозначаются как коэффициенты загрязнения. Определяют средний коэффициент для каждого элемента (табл. 2). Общий коэффициент загрязненности приобретает вид сумм отношений концентраций элементов в каждой пробе к соответствующим ПДК:

$$\Sigma K = C1/\text{ПДК}1 + C2/\text{ПДК}2 + \dots Cn/\text{ПДК}n,$$

так как при вычислении ПДП используют среднюю массу на 1 м² территории.

Уровни загрязнения ТМ снежного покрова с использованием коэффициентов загрязнения (для воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения) позволяют оценить вклад химического элемента в общее загрязнение в зависимости от его количества (массы) и качества (ПДК). Анализ загрязненности территории города по значениям средних и суммарных коэффициентов загрязнения снежного покрова за 2007–2008 гг. показал, что наибольший вклад приходится на кадмий, свинец,

Таблица 2

Коэффициенты загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова Казани (по ПДК для вод хозяйственно-питьевого назначения)

Год	Средние коэффициенты загрязнения, К _{ср.}									Сумма К _{ср.}
	Cd	Co	Mn	Cu	Ni	Pb	Cr	Zn	Fe	
2007	0,15	0,003	-	0,003	0,01	0,03	0,02	0,02	н/о	0,24
2008	0,14	0,008	-	0,001	0,05	0,03	0,06	0,02	н/о	0,303
2009	-	-	0,04	0,004	0,04	0,04	0,03	0,06	н/о	0,21
2010	0,001	0,013	0,05	0,004	0,32	0,21	0,15	0,01	н/о	0,748
2011	0,25	-	0,13	0,01	0,03	0,01	-	0,03	н/о	0,453
2012	0,89	0,18	0,08	0,015	0,05	0,26	0,06	0,04	0,13	1,59
2013	5,43	-	0,09	0,01	0,08	0,24	0,24	0,03	0,17	6,29

Примечание. н/о – данный металл в пробах не определялся; – содержание металла ниже аналитической чувствительности метода определения.

хром и никель (см. табл. 2). В зимний период 2009–2011 гг. загрязненность территории определяли по цинку, марганцу, никелю и свинцу. Суммарная загрязненность в этот период была ниже гигиенических регламентов с подъемом в 2010 г. (за счет значительного увеличения доли никеля, свинца и хрома). Загрязненность территории Казани в зимние периоды 2007 и 2013 гг. была не только существенно выше предельно допустимой (по ПДК_{хоз. пит} в 1,59 и 6,29 раз соответственно), но загрязнение тяжелыми металлами за год усилилось. Суммарная загрязненность за этот период была ниже гигиенических регламентов для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения, хотя в 2012–2013 гг. за счет значительного увеличения доли кадмия, свинца и хрома наблюдался подъем. Знание суммарных коэффициентов загрязненности снега позволяет выделить территории с различными уровнями загрязнения. Исходя из показателя суммарного коэффициента загрязнения снегового покрова ТМ на территории Казани за 2009–2013 гг. были выделены четыре зоны: I – Дербышки (K_{сумм} = 13,4); II – Теплоконтроль (K_{сумм} = 10,6); III – Горки (K_{сумм} = 6,3); IV – Кировский район (K_{сумм} = 8,5), различающиеся по расположению промышленных предприятий, производств, интенсивности движения автотранспорта. Так, Кировский район (IV зона) и зона Теплоконтроль в Приволжском районе города (II зона) являются старыми промышленными центрами, где расположены крупные предприятия и ряд автотранспортных хозяйств. В I зоне, в Дербышках, наиболее крупными по выбросам вредных веществ в атмосферу являются Казанский оптико-механический завод (КОМЗ) и предприятие по производству бытовой химии ОАО «Хитон» и Горки (III зона) относятся к наиболее экологически благополучному району города. Оценка химического загрязнения подвижной формы металлов в отдельных зонах города, показала, что допустимый уровень загрязнения (Z_c < 16) отмечается в III зоне [7]. По величине суммарных коэффициентов (Z_c) самыми загрязненными оказались II и IV зоны (район Теплоконтроль и Кировский район). Уровни загрязнения I и III зон был практически всегда в два раза ниже. Как известно, уровень техногенного загрязнения почв характеризуется достаточно большой стабильностью на протяжении многих лет и столетий, что, возможно, объясняет более высокий уровень загрязнения в III и V зонах, которые всегда характеризовались высоким уровнем развития промышленности и производства, с XIX века являясь сосредоточением фа-

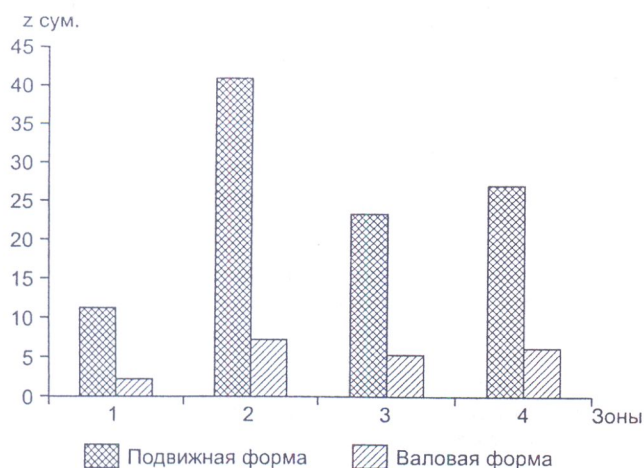


Рис. 1. Коэффициент загрязнения почв в зонах Казани валовая подвижная форма (I – Дербышки, II – Теплоконтроль, III – Горки, IV – Кировский район).

брик и заводов региона. В таком случае по суммарному показателю загрязнения почвы подвижными формами металлов почвы I зоны относятся к категории с допустимым уровнем загрязнения (Z_c 11,3), почвы III и IV зон – к умеренно опасным ($Z_{сум.}$ 23,4 и 27,1), а почвы II зоны (Теплоконтроль) относятся по оценочной шкале к опасной ($Z_{сум.}$ 41,2) (рис. 1).

На основании многолетних наблюдений рассчитаны линейные уравнения регрессии между содержанием ТМ в твердой фазе снега и валовой форме в почвах, что позволяет прогнозировать экологическую ситуацию. Нами были получены статистические модели, отражающие зависимость валового содержания хрома, меди и цинка в почве от содержания соответствующих металлов в твердой (нерастворимой) фазе снега (рис. 2 и 3). Итоговое регрессионное уравнение связи содержания меди в пыли и валового содержания его в почве выглядит следующим образом:

$$Y = 101,2 \cdot x - 159,7,$$

где x – валовое содержание меди в почве (мг/кг), при этом $F = 49,6$, $R = 0,82$, $p < 0,001$. Уравнение регрессии для хрома: $y = 87,9 \cdot x - 403,2$, где x – валовое содержание хрома в почве (мг/кг), при этом $F = 8,1$, $R = 0,67$, $p < 0,001$; для цинка: $y = 0,00028 \cdot x + 0,03$, ($F = 7,37$, $R = 0,53$, $p < 0,001$).

Полученные нами статистические модели для хрома, меди и цинка подтверждают существование четких почвенных аномалий в промышленных зонах города по данным ТМ. В отношении остальных металлов (свинца и кадмия) такая зависимость не определена, что указывает на равномерное их распределение (рассеяние) в составе твердой фазы снегового покрова и источников их выброса по территории города, и в определенной степени свидетельствует о большей роли в их происхождении автотранспорта. Выявленная зависимость содержания меди, хрома и цинка в пыли и в почве представляет возможность рассчитать валовое содержание изученных металлов в любой точке на территории города и идентифицировать источники загрязнения.

Оценка степени загрязнения почв города с учетом класса опасности элемента, его ПДК и максимального значения допустимого уровня содержания металла (K_{max}) показала, что вся изученная нами территория Казани слабо загрязнена марганцем. По другим ТМ категория загрязненности почвы различается по зонам. В I

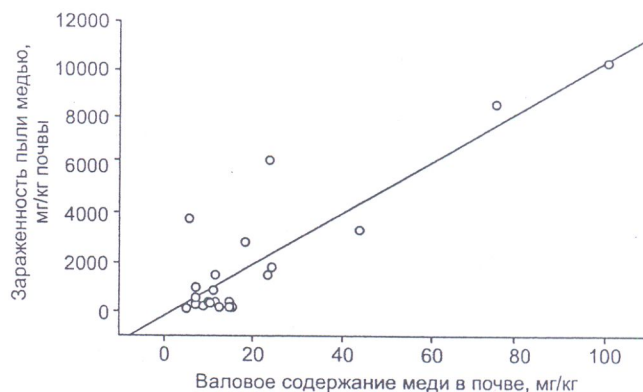


Рис. 2. Взаимосвязь содержания валовой формы меди в почве с содержанием в снеге.

зоне (поселок Дербышки) сильная загрязненность определялась только по меди; во II зоне (Теплоконтроль) сильная и очень сильная загрязненность – по никелю, свинцу, кобальту, меди и цинку; в III зоне (Горки) – по никелю и кобальту; в IV зоне – по кадмию и меди. Особого внимания заслуживает вторая зона, условно обозначенная «Теплоконтроль» и отнесенная к сильно и очень сильно загрязненной из-за высоких по сравнению с ПДК концентраций свинца, кобальта, подвижных форм меди, никеля, цинка и по пяти из них (Ni, Pb, Zn, Co, Cu). Широкая вариабельность точечных значений металлов, особенно «всплески» в санитарно-защитных зонах предприятий (например, Zn в Дербышках), подтверждают их техногенное происхождение. Исходя из этого, на следующем этапе нами был проведен анализ на содержание ТМ в волосах у детей, проживающих в выделенных зонах. На сегодняшний день одним из подходов для установления реальной химической нагрузки и оценки степени неблагоприятного воздействия на здоровье и безопасность жизнедеятельности населения является использование определения химических соединений в биологических средах человека. При этом важным аспектом остается установление региональных уровней, с учетом комплекса эколого-гигиенических факторов на изучаемой территории [8]. Результаты анализа волос детей, проживающих в указанных зонах города Казани, показали, что концентрации свинца, кадмия, никеля, цинка, марганца и меди характеризовались большим размахом абсолютных величин. Проверка характера распределения абсолютных значений концентраций ТМ показала, что статистическое распределение концентраций только одного биогенного металла цинка

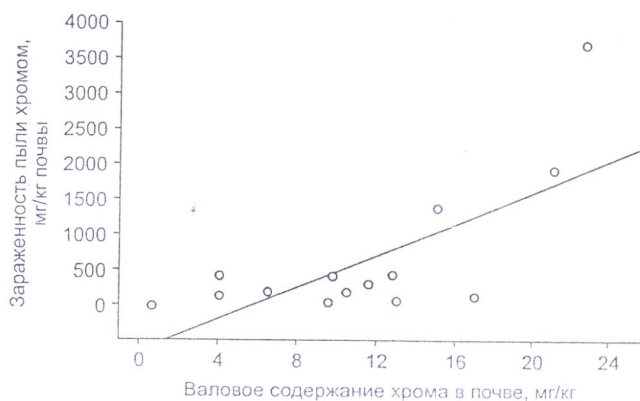


Рис. 3. Взаимосвязь содержания валовой формы хрома в почве с содержанием в снеге.