

# ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПРЕДПРИЯТИЮ



**А.А. Ингири**

**Федеральный исследовательский центр Кольский научный центр  
Российской академии наук, г. Апатиты**

Представлены мониторинговые исследования экологического состояния почв земель сельскохозяйственного назначения в районе действия горно-металлургического предприятия ОАО "ГМК Печенганикель", расположенного в Северо-Западной части Кольского полуострова. Планирование проведения обследования (создание цифровой картографической основы) проводилось в среде ГИС с использованием растровых архивных данных и данных дистанционного зондирования Земли. Точность отбора почвенных образцов в пределах границ выделенных элементарных участков и контуров обеспечивалась применением навигаторов GPS. Установлено значительное превышение ОДК содержания Cu, Ni, As в исследованных образцах. По результатам обследований составлены картограммы с использованием программного комплекса ГИС.

*Ключевые слова: эколого-токсикологическое обследование почв, предельно допустимые концентрации тяжёлых металлов, географическая информационная система, агрохимия*

## Ecological and Toxicological Examination of Soils in the Territory Polluted by Industrial Emissions of Mining and Metallurgical Enterprises

**A.A. Ingiri**

**Federal Research Center Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 184209 Apatity, Russia**

The monitoring studies of the ecological state of soils of agricultural lands in the area of operation of the mining and smelting enterprise OJSC MMC Pechenganikel, located in the North-Western part of the Kola Peninsula, are presented. Planning of the survey (creation of a digital cartographic base) was carried out in a GIS environment using raster archive data and Earth remote sensing data. The accuracy of soil sampling within the boundaries of the selected elementary areas and contours was ensured by the use of GPS navigators. A significant excess of the APC content of Cu, Ni, As in the studied samples was established. Based on the survey results, cartograms were compiled using the GIS software package.

*Key words: ecological and toxicological examination of soils, maximum permissible concentrations of heavy metals, geographical information system, agrochemistry*

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-62-66

Экологическому состоянию окружающей среды вокруг предприятий горно-химического и горно-металлургического комплексов Кольского полуострова уделяется значительное внимание в научных учреждениях Мурманской области (Лапландский государственный природный биосферный заповедник, Кольский геологический информационно- лабора-

торный центр (КГИЛЦ), Заповедник "Пасвик", Полярно-альпийский ботанический сад-институт Кольского научного центра РАН и др.).

Данные мониторинга состояния атмосферы, водных объектов, осадков и почвы в естественных (природных) экосистемах и в селитебных зонах говорят о значительном загрязнении природных экосистем тяжёлыми металлами, их

миграции в трофических цепях и аккумуляции в тканях растений и животных [1–3].

Согласно государственному отчёту "О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2012 году" в Мурманской области доля образцов почвы, отобранных в селитебных зонах, в которых превышены ПДК по санитарно-химическим показателям,

составила 51,3 %, что в 5,8 раз превышает среднероссийский показатель [4].

Исследователями отмечается превышение заболеваемости местного населения в районах размещения горно-химических предприятий в сравнении со средними показателями по Мурманской области [5].

Вместе с этим, информация о почвах земель сельскохозяйственного назначения ограничена и специфична.

В настоящее время загрязнение почв сельскохозяйственных угодий России тяжелыми металлами незначительно по площади. Загрязнение наиболее характерно для территорий, примыкающих к промышленным предприятиям, теплоэлектростанциям, автомобильным трассам, к местам использования осадков сточных вод. Однако в агроландшафтах, находящихся в зоне техногенного воздействия, необходим систематический контроль состояния почв и растений [6].

По данным комплексного мониторинга сельхозземель, проводимого станцией агрохимической службы "Мурманская", превышение ПДК по валовому содержанию никеля, меди и цинка отмечается на площади 1710 га из 8,3 га обследованной [7].

Цель данного исследования — оценка экологического состояния почв земель сельскохозяйственного назначения в районе техногенного загрязнения выбросами комбината "Печенганикель" и определение перспективы их использования на основании данных локального эколого-токсикологического обследования.

### **Объект и методы**

Участок "Куэ́тс-ярви" расположен в непосредственной близости к п.г.т. Никель на берегу озера с одноимённым названием (рис. 1) на расстоянии 4 км от комбината "Печенганикель".

Выбор объекта исследования обусловлен, прежде всего, его использованием местным населением как личного под-



**Рис. 1. Схема расположения участка "Куэ́тс-ярви" (обозначения на карте: № образца; (№ контура); pH)**

**Fig. 1. Layout of the "Kuetsjdrvi" section (designations on the map: sample number; (contour number); pH)**

собного хозяйства для получения продукции растениеводства (картофеля, зелени и других овощных культур, ягод для собственного потребления).

Следует также отметить, что в северной части участка протекает р. Колос-йоки, в которую поступают сточные воды комбината. Р. Колос-йоки впадает в озеро Куэ́тс-ярви, связанное протокой с озером Сальми-ярви, которое является частью озерно-речной системы р. Патсо-йоки (р. Паз), протекающей по территории России и Норвегии.

Согласно плану внутрихозяйственного землеустройства, участок имеет площадь 48 га и включает в себя восемь контуров разной площади, разделённых естественными и искусственными объектами (водные объекты, дороги, строения), а также характеризующихся по преобладающему минерально-

му или органическому сложению почвы и наличию осушительных систем мелиорации. Он относится к категории земель сельскохозяйственного назначения и находится в "фонде перераспределения земель" (по данным Управления Росреестра по Мурманской области).

На данном участке почвенный покров представлен преимущественно дерново-подзолистыми и, в меньшей степени, торфяно-глебовыми почвами (почвенное обследование проводилось Северо-Западным филиалом института "РОСГИПРОЗЕМ" в 1974 г.). Вместе с тем, информация о почвенном плодородии и экологическом состоянии данного участка в архивных материалах отсутствует.

Работы по эколого-токсикологическому обследованию участка, включающие в себя подготовку оборудования, кар-

Содержание валовых и подвижных форм ТМ в почвах							
The content of gross and mobile forms of TM in soils							
№ контура (см. рис. 1)	№ образца	рН <sub>КС</sub>	Содержание, мг/кг				
			Валовое содержание			Подвижные формы	
			Cu	Ni	As	Cu	Ni
1	1	5,9	61,9	79,3	2,08	6,64	16,88
	2	5,9	44,4	48,1	2,50	3,92	10,64
2	3	5,5	57,8	79,0	4,10	4,01	15,60
3	4	5,2	43,6	44,2	1,26	5,65	17,91
	5	5,3	60,1	90,6	2,68	6,11	27,30
4	6	5,6	59,2	65,9	2,90	4,93	17,08
	7	5,8	50,8	53,2	4,10	4,53	14,64
	8	5,3	72,8	58,0	3,50	6,20	30,21
	9	5,5	75,3	97,1	3,04	5,28	27,86
	10	5,4	89,1	118	3,30	5,01	27,70
	11	5,3	94,7	148	4,30	6,54	29,80
	12	5,5	83,4	120	2,68	4,65	20,63
	13	5,4	85,3	83,2	3,90	6,03	25,42
	14	5,4	106,7	122	2,90	6,30	32,36
	5	15	4,9	67,2	91,9	1,86	8,13
16		5,2	66,9	91,0	2,68	7,87	30,76
17		5,3	68,0	110	1,10	7,46	27,28
18		5,8	86,8	110	2,90	5,40	25,14
19		5,1	79,2	100,2	1,68	10,41	35,59
6	20	5,8	84,8	140	0,86	5,99	20,91
	21	6,2	74,8	93,4	4,60	6,76	27,36
	22	4,9	79,4	72,2	3,90	11,08	40,62
	23	5,4	104,7	156	2,90	21,16	61,27
	24	5,3	98,9	175	5,30	18,99	100,8
7	25	4,3	95,2	132	3,90	23,34	60,63
	26	4,2	130,1	129	5,90	30,42	62,63
8	27	5,2	211	360	3,30	8,95	50,96
<b>ПДК (ОДК)</b>			<b>33,0</b>	<b>20,0</b>	<b>2,0</b>	<b>3,0</b>	<b>4,0</b>

тографического материала, полевые работы, лабораторные исследования, обработку и интерпретацию полученных данных, выполнялись с апреля по октябрь 2012 г. При подготовке вышеуказанных работ за основу взяты "Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения" (утв. Минсельхозом России 24.09.2003 г.) [8].

Лабораторные анализы и камеральные работы проводились в аккредитованной испытательной лаборатории по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства ФГБУ госстанции агрохимической службы "Мурманская" (Аттестат аккредитации испытательной лаборатории, зарегистрированный в Едином реестре № РОСС RU.0001.515574).

Отбор образцов почв для определения кислотности и содержания ТМ, а также для гранулометрического состава проводился в соответствии с ГОСТ 28168-89. Степень кислотности определялась рН-метром по ГОСТ 26483-85, гранулометрический состав почв — методом сухого просеивания. Валовое содержание (никель, медь, цинк, кадмий, свинец, кобальт, марганец, железо, ртуть, мышьяк) и количественное определение подвижных форм тяжёлых металлов (медь, цинк, марганец, кобальт, свинец, никель, кадмий) проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС "Спектр-5").

Для эколого-токсикологической оценки в соответствии с агрофизическими свойствами пахотного и подпахотного горизонтов были приняты ОДК, рассчитанные для песчаных и

супесчаных почв согласно утверждённым гигиеническим нормативам (ГН 2.1.7.2511-09).

Для создания цифровой картографической основы использовались архивы почвенных обследований (Управление Росреестра по Мурманской области), архивные материалы внутрихозяйственного землеустройства и истории полей (ФГБУ ГСАС "Мурманская"), данные дистанционного зондирования земли (спутниковые снимки) из свободных источников.

Все используемые архивные материалы были переведены в цифровой (растровый) вид посредством использования сканера и цифрового фотоаппарата. Работы по координатной географической привязке полученных растровых карт-схем и создание цифровой (векторной) карты проводились с помощью программного комплекса ГИС (ArcGIS 10.1).

Полученная векторная карта с метаданными о географической привязке объекта была помещена в GPS-навигатор (Garmin 60Cx), что обеспечило точность прохождения маршрута при отборе почвенных проб в пределах границ полигонов и элементарных участков.

Образцы для определения гранулометрического состава отбирались на глубине 0–20 см. Согласно общепринятой классификации Н.А. Качинского на данном участке преобладают супесчаные и связнопесчаные почвы. Плотность твёрдой фазы почв минерального состава в пределах 2,57–2,73 г/см<sup>3</sup>. Такие показатели говорят о малой обеспеченности органическим веществом пахотного слоя. Исключение составляет контур 8 (см. рис. 1), расположенный на торфяной почве. Торфяные почвы из-за высокого содержания органического вещества в большей степени способны накапливать металлотоксиканты в отличие от минеральных почв лёгкого гранулометрического состава.

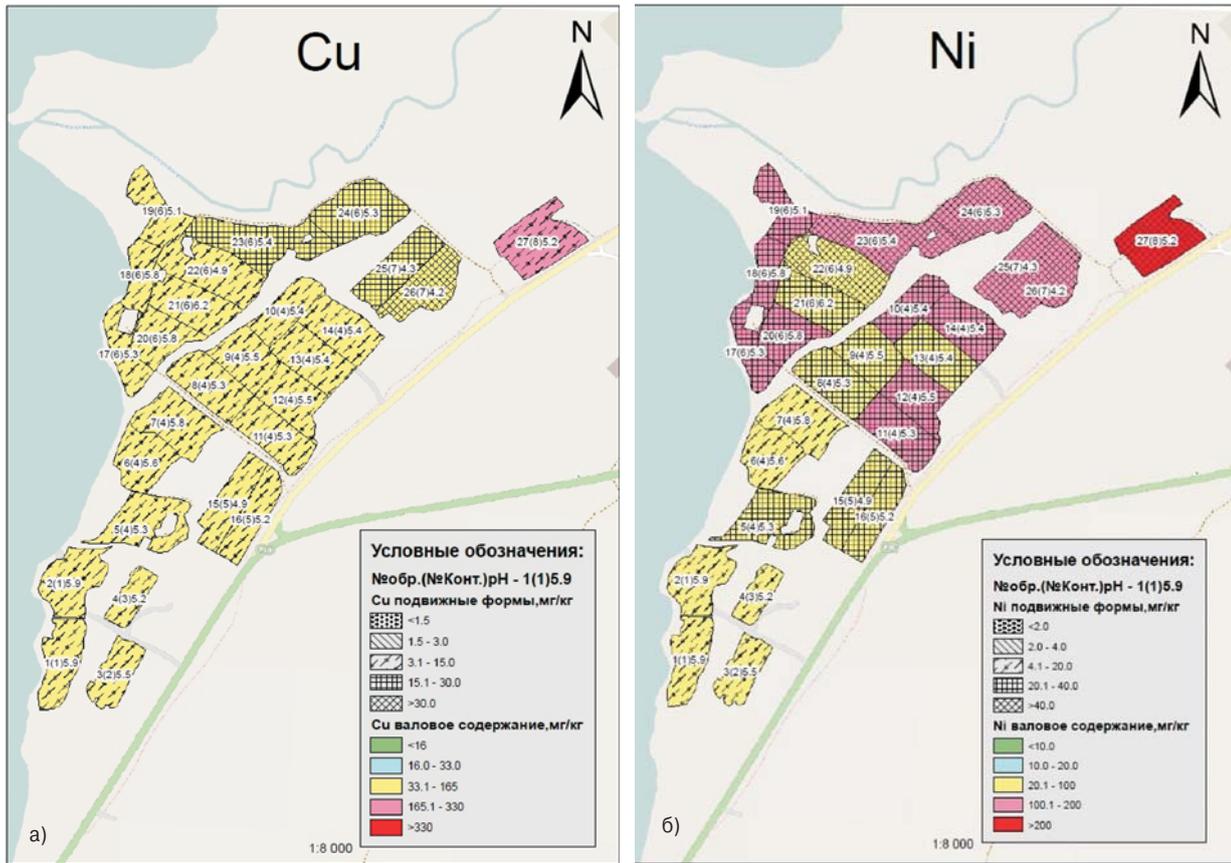


Рис. 2. Варианты компоновки картограмм распределения валовых и подвижных форм тяжелых металлов:

а – Cu; б – Ni; в – As

Fig. 2. Layout options for cartograms of the distribution of gross and mobile forms of heavy metals:

а – Cu; б – Ni; в – As

Обменная кислотность, определяемая в солевой вытяжке KCl, на участке изменяется в широких пределах — от сильноокислой ( $\text{pH} = 4,1-4,5$ ), до нейтральной ( $\text{pH} > 6,01$ ). Преобладают почвы со слабокислой и близкой к нейтральной степенью кислотности, что обусловлено оседанием с промышленной пылью щелочных и щелочноземельных металлов [9, 10].

Лабораторные исследования образцов почв как на валовое содержание, так и количественное определение в них подвижных форм тяжёлых металлов показали значительное превышение ПДК типичных для данной территории металлотоксикантов (Ni, Cu) во всех пробах (см. таблицу).

Наибольшее валовое содержание меди и никеля отмечено именно на торфяной (органической) почве в образце 27,

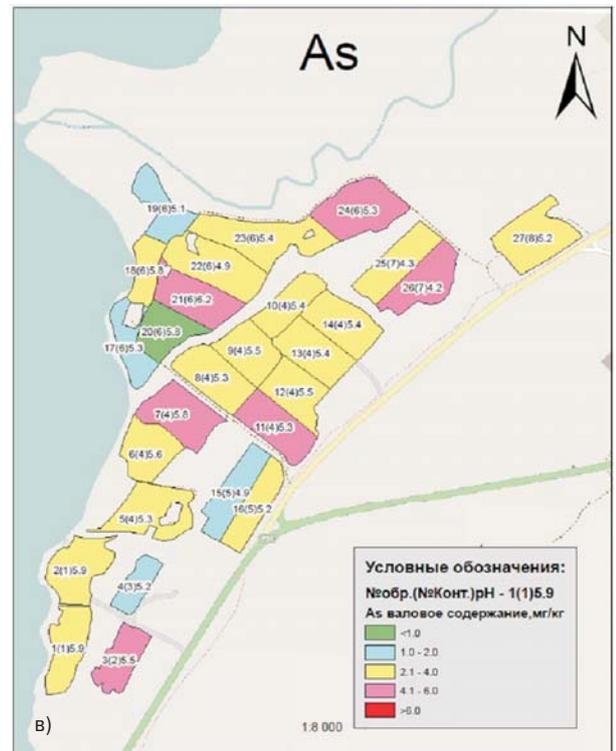
контур  $\delta$  (рис. 2, а, б). Валовое содержание мышьяка в двадцати двух почвенных образцах превышало ОДК (рис. 2, в).

Полученные в полевых и лабораторных условиях данные были занесены в атрибутивную таблицу в программе ГИС для дальнейшего анализа и визуализации информации в виде картограмм распределения тяжёлых металлов.

На рис. 2 представлены варианты компоновки картограмм распределения валовых и подвижных форм тяжёлых металлов (Cu, Ni, As).

Другие тяжёлые металлы содержатся в пахотном слое почвы в допустимых концентрациях, за исключением валового и подвижного Cd и подвижного Co, незначительно превышающих верхнюю границу ОДК.

Валовое содержание, мг/кг: Zn 25,9–47,9 (ОДК 55,0); Pb



2,29–10,92 (ОДК 32,0); Cd 0,061–0,797 (ОДК 0,5); Co 2,9–14,76 (ОДК 20); Fe 6008–13505 (ОДК 46500); Mn 31,43–210 (ОДК 1500); Hg 0,012–0,068 (ОДК 2,1).

Подвижные формы, мг/кг: Zn 1,49–12,06 (ОДК 23); Pb 0,22–2,02 (6,0); Cd 0,024–0,315 (ОДК 0,3); Co 0,051–0,580 (ОДК 0,5); Mn 4,29–26,92 (ОДК 80).

Исходя из полученных данных, можно заключить, что использование данного участка для производства пищевой сельхозпродукции недопустимо.

#### Литература

1. Даувальтер В.А., Канищев А.А. Геологическая обстановка водоёмов в зоне влияния ГМК "Печенганикель". Вестник МГТУ. 2008. Т. 11. № 3. С. 398–406.
2. Ежов А.Ю. Техногенное загрязнение тяжёлыми металлами ландшафтов северо-запада Кольского полуострова. Вестник МГОУ. Сер. "Естественные науки". М., Изд-во МГОУ, 2010. № 1. С. 98–103.
3. Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М. Современные тенденции изменений пресноводных экосистем Северо-Арктического региона. Труды Кольского научного центра РАН. 2012. № 2. С. 7–54.
4. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2012 году. Государственный доклад. М., Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2013. 176 с.
5. Карначёв И.П., Жиров В.К., Загвоздина О.И., Крымская М.М. Эколого-гигиеническая оценка состояния окружающей среды в районе размещения Хибинского горно-химического комплекса Мурманской области. Вестник МГТУ. 2011. Т. 14. № 3. С. 552–560.
6. Борисочкина Т.И., Водяницкий Ю.Н. Загрязнение агроландшафтов России тяжёлыми металлами: источники, масштабы, прогнозы. Бюл. Почв. ин-та. 2007. № 60. С. 82–89.
7. Нестёркин М.Г., Хлуднева Н.Н. Состояние плодородия почв Мурманской области. Достижение науки и техники АПК. 2018. № 6. С. 10–14.
8. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения: утв. Минсельхозом России 24.09.2003 г. 304 с.
9. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Корнейкова М.В. Содержание и токсичность тяжёлых металлов в почвах зоны воздействия газовоздушных выбросов комбината "Печенганикель". Почвоведение. 2014. № 5. С. 625–631.
10. Даувальтер В. А., Кашулин Н.А. Аккумуляция и миграция химических элементов в арктических наземных и водных экосистемах в зоне влияния выбросов комбината "Печенганикель". Тр. КарНЦ РАН. 2018. № 3. С. 31–42.

#### Выводы

Ввиду того, что почвы способны накапливать токсичные вещества, они сами впоследствии становятся дополнительным источником загрязнения окружающей среды. Даже после устранения основного источника вредных выбросов такие почвы остаются токсичными на протяжении десятков и сотен лет.

Применение географической информационной системы на всех этапах проведения эколого-токсикологического мониторинга (планирование работы, сбор информации, обработка и визуализация данных) позволяет создать базу данных по объекту исследования. Впоследствии она может быть использована для принятия управленческих решений, планирования восстановительных и других работ.

#### References

1. Dauval'ter V.A., Kanishchev A.A. Geologicheskaya obstanovka vodoemov v zone vliyaniya GMK "Pechenganikel". Vestnik MGTU. 2008. T. 11. № 3. S. 398–406.
2. Ezhov A.Yu. Tekhnogennoe zagryaznenie tyazhelymi metallami landshaftov severo-zapada Kol'skogo poluostrova. Vestnik MGOU. Ser. "Estestvennyye nauki". M., Izd-vo MGOU, 2010. № 1. S. 98–103.
3. Kashulin N.A., Denisov D.B., Val'kova S.A., Vandyshe O.I., Terent'ev P.M. Sovremennyye tendentsii izmenenii presnovodnykh ekosistem Evro-Arkticheskogo regiona. Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. 2012. № 2. S. 7–54.
4. O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossiiskoi Federatsii v 2012 godu. Gosudarstvennyi doklad. M., Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitel'ei i blagopoluchiya cheloveka, 2013. 176 s.
5. Karnachev I.P., Zhiron V.K., Zagvozdina O.I., Krymskaya M.M. Ekologo-gigienicheskaya otsenka sostoyaniya okruzhayushchei sredy v raione razmeshcheniya Khibinskogo gorno-khimicheskogo kompleksa Murmanskoi oblasti. Vestnik MGTU. 2011. T. 14. № 3. S. 552–560.
6. Borisochkina T.I., Vodyanitskii Yu.N. Zagryaznenie agrolandshaftov Rossii tyazhelymi metallami: istochniki, masshtaby, prognozy. Byul. Pochv. in-ta. 2007. № 60. S. 82–89.
7. Nesterkin M.G., Khludneva N.N. Sostoyanie plodorodiya pochv Murmanskoi oblasti. Dostizhenie nauki i tekhniki APK. 2018. № 6. S. 10–14.
8. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya: utv. Min'sel'khozom Rossii 24.09.2003 g. 304 s.
9. Evdokimova G.A., Mozgova N.P., Korneikova M.V. Soderzhanie i toksichnost' tyazhelykh metallov v pochvakh zony vozd'eystviya gazovozdushnykh vybrosov kombinata "Pechenganikel". Pochvovedenie. 2014. № 5. S. 625–631.
10. Dauval'ter V. A., Kashulin N.A. Akkumulyatsiya i migratsiya khimicheskikh elementov v arkticheskikh nazemnykh i vodnykh ekosistemakh v zone vliyaniya vybrosov kombinata "Pechenganikel". Tr. KarNTs RAN. 2018. № 3. S. 31–42.

А.А. Ингири – мл. науч. сотрудник, Федеральный исследовательский центр Кольский научный центр Российской академии наук, 184209 Россия, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана 14, e-mail: dr.varuly@inbox.ru

A.A. Ingiri – Junior Research Fellow, Federal Research Center Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 184209 Russia, Murmansk region, Apatity, Fermans Str. 14, e-mail: dr.varuly@inbox.ru