



УДК 504.05

**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА РАЙОНА
ХИНГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЛОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ****EVALUATION OF SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS IN
THE KHINGANSKY TIN DEPOSIT AREA****М.В. Горюхин
M.V. Goruykhin**

*Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Россия, 679016, Биробиджан,
ул. Шолом-Алейхема, 4*

Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, 4 Sholom-Aleikhem St, Birobidzhan, 679016, Russia,

E-mail: goruhin@mail.ru

Ключевые слова: загрязнение почв, тяжелые металлы, оценка загрязнения, суммарный показатель загрязненности, кларк, региональный фон тяжелых металлов.

Key words: soil pollution, heavy metals, pollution assessment, the total pollution index, clark, regional background of heavy metals.

Аннотация. Проведена оценка экологического состояния почвенного покрова района длительной разработки полезных ископаемых на примере Хинганского месторождения олова. Для определения степени загрязнения проанализированы пробы поверхностных слоёв почвенного профиля зоны ведения горных работ, выноса загрязнений и фоновой территории на содержание таких тяжелых металлов, как Fe, Cu, Pb, Zn, As, Ni, Cd и Co. Полученные значения оценены относительно нормативных показателей, в качестве которых выбраны кларк, региональное фоновое содержание и суммарный показатель загрязнения. Установлено, что в почвах происходит накопление тяжелых металлов, преимущественно в понижениях рельефа; при расчете экологических показателей необходимо учитывать геохимические особенности территории.

Resume. The paper presents an ecological evaluation of soil condition in the Khingan tin deposit area after a long period of mine-working. To determine the level of soil contamination, it was tested the samples from soil profile surface layers - in the zones of mountain works, and in the control and background territories. The content of heavy metals, such as Fe, Cu, Pb, Zn, As, Ni, Cd, and Co was evaluated in the samples by means of their comparison with standard indicators, showing the clark, regional background maintenance, and a total index of pollution. It has been stated that soils accumulate heavy metals, their concentration being higher in low relief sites. Thus, while estimating ecological showings, it is always necessary to take into account geochemical features of the territory.

Введение

Начиная со второй половины 20 века, влияние техногенеза на природную среду значительно возросло. Ежегодно перемещаются миллиарды тонн угля, нефти, руд и строительных материалов, т. е. в течение небольшого периода времени происходит рассеивание веществ, на накопление которых природе требуются многие тысячи лет. При этом результаты воздействия горнодобывающей промышленности на компоненты окружающей среды достаточно похожи – нарушение рельефа, почвенного и растительного покрова, поверхностного и подземного стоков. Как следствие, происходит формирование горнопромышленных ландшафтов и техногенных аномалий, определяющих качество окружающей среды [Перельман, Касимов, 1999; Сагет и др., 1990], поэтому возникает необходимость адекватной оценки экологического состояния территорий, подверженных длительному воздействию горнорудной промышленности.

Дальний Восток России (ДВР) обладает уникальными минерально-сырьевыми ресурсами от руд благородных металлов до строительных материалов и минеральных вод. Разработка месторождений сопровождается широкомасштабными изменениями природной среды. Этому также способствуют климатические особенности территории, усиливающие процессы окисления руд в зоне аэрации и поступления соединений высокотоксичных тяжелых металлов (ТМ) в окружающую среду, например Pb, Zn, As, Cd, Bi, Mn, Cu и др. [Бакулин и др., 1999; Адмидин и др., 2005; Зонов и др., 2008].

Целью работы является оценка экологического состояния почвенного покрова района длительной разработки полезных ископаемых, на примере Хинганского месторождения олова.



Район исследования

Работы проводились на северо-западе Еврейской автономной области (ЕАО) в западных отрогах хребта Малый Хинган, осевая часть которого вытянута почти меридианально. Горы характеризуются мягкими, сглаженными формами. Абсолютные высоты обычно не превышают 550–650 м, относительные – 200–300 м, отдельные вершины достигают 800 м. Самой крупной водной артерией является река Левый Хинган, общая длина которой от истоков до слияния с р. Правый Хинган составляет 16 км, площадь бассейна – 146 км².

В первой половине прошлого века здесь произошёл крупный лесной пожар, что подтверждается данными полевых наблюдений – местами, под маломощным дерновым слоем, отмечаются прослойки древесных углей. В результате, исходная лесная растительность выгорела, а современная представлена вторичными белоберёзовыми и берёзово-осиновыми лесами. Почвы – буротаежные иллювиально-гумусовые, каменисто-щебенистые. Территория относится к Малохинганскому району Среднеамурской климатической провинции, погодные условия которой определяются значительным влиянием муссонных процессов [Петров и др., 2000; Справочник, 1967; Журнист и др., 2004; Ванеев, 1931].

Территория Хингано-Олонойского рудного района совпадает с площадью распространения меловых вулканогенных пород Хингано-Олонойского прогиба. Здесь обнаружен ряд многочисленных проявлений и месторождений оловянных и оловополиметаллических руд, самым крупным из которых является Хинганское. Горными выработками и скважинами оно прослежено на глубину более 800 м без признаков уменьшения оруденения. Месторождение, в целом, представляет собой единый штокверк с густой сетью ветвящихся, беспорядочно распределённых прожилков, сложенных касситеритом, кварцем, хлоритом, флюоритом и сульфидами. Основным рудным минералом является касситерит (в среднем около 0.7%), вторыми по значимости – флюорит (около 2%) и сульфиды меди, цинка, свинца (суммарно менее 1%). Рудные тела имеют относительно небольшие поперечные размеры (30–50 м) и протяжённость по падению до 300–400 м [Сидоренко, 1986; Коростелев и др., 2000; Усиков, 2006; Горюхин, 2012].

На первоначальном этапе эксплуатации объекта (1944–1963 гг.) заложен карьер и сформированы плоские отвалы вскрышных, вмещающих пород и бедных руд. В начале 50-х годов произошла техногенная катастрофа – прорыв дамбы хвостохранилища с выносом отходов обогащения в долину р. Левый Хинган. В 1964 г., в связи с отработкой верхних горизонтов месторождения, Хинганский ГОК перешёл на подземный способ добычи руды через шахту «Капитальная». Комбинат прекратил свою работу в 2005 г. Для хранения отходов обогащения были построены три хвостохранилища общей площадью около 15 га, они не рекультивированы и подвергаются интенсивному воздействию водной и ветровой эрозии. За время, прошедшее после прекращения эксплуатации месторождения, растительность восстановилась на незначительной части поверхности хвостохранилищ [Горюхин, 2013; Горюхин, 2012].

Объект и методы исследования

Объект исследования – почвы района разработки Хинганского месторождения олова. Отбор проб производился в июле 2009 г. методом конверта, из верхнего поверхностного слоя почвенного профиля в непосредственной близости от отходов добычи и обогащения руд, а также ниже и выше пос. Хинганск по течению р. Левый Хинган (рис. 1). Расположение полигонов отбора проб: №1 – левый берег р. Левый Хинган, ниже устья ключа Малиновый, выносящего загрязнители с территории ведения горных работ; №2 – на берегу ключа Малиновый из верхнего дернового слоя и №3 – из запирающего слоя почвенного профиля; №4 – на перегибе склона на сопке высотой 686 м в зоне непосредственного влияния отвалов и – №5 на ее вершине; №6 – на левом берегу р. Левый Хинган, выше пос. Хинганск.

Реестр ТМ обоснован геохимическими особенностями территории и минеральным составом месторождения, для которого помимо касситерита (SnO₂), характерно присутствие сульфидов Fe, Cu, Pb, Zn, As. Эти минералы в качестве примесей могут содержать соединения Ni, Cd и Co [Усиков, 2006; Лебедева, 1972].

Валовое содержание тяжелых металлов определялось в Инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики ДВО РАН (г. Хабаровск) на спектрометре ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой после кислотного разложения в микроволновом поле. Контроль экологического состояния почв проведен по следующим показателям [Перельман, Касимов, 1999]:

1) отношение концентрации ТМ к Мировому кларковому содержанию;

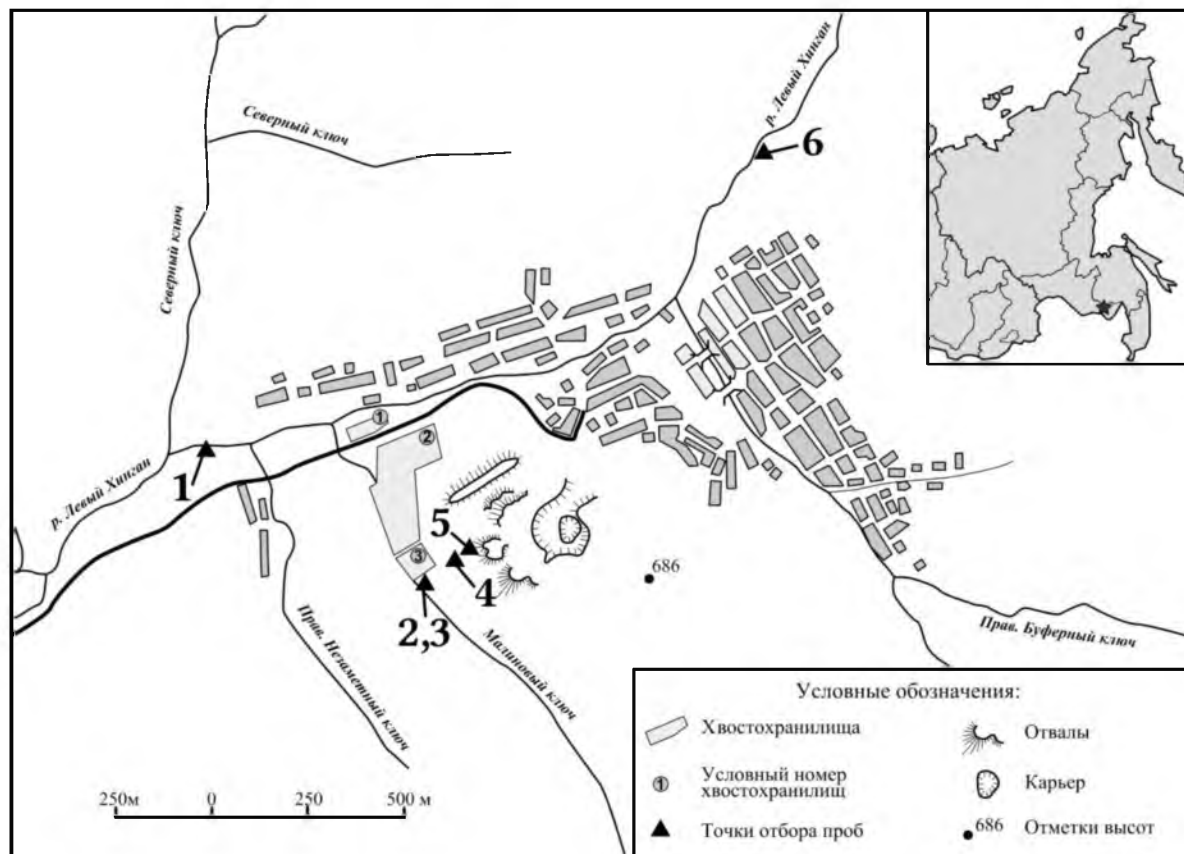


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб
Fig. 1. Arrangement of sampling points

2) коэффициент аномальности элемента (K_c): отношение его содержания в пробе (C_i) к среднему фоновому значению (C_f): $K_c = C_i / C_f$;
3) суммарный показатель загрязнения (Z_c): $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$, где n – количество учитываемых элементов.

Для оценки опасности загрязнения почв использована следующая шкала: $Z_c \leq 16$ – не опасное; 16–32 – умеренно опасное; 32–128 – опасное; > 128 – чрезвычайно опасное.

Результаты и обсуждение

По данным валового содержания ТМ (табл. 1) построен концентрационный ряд, показывающий, что основными природными загрязнителями, характерными для Буреинской геохимической провинции являются Fe и Mn , а среди техногенных поллютантов преобладают Zn , Cu и Pb : $Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > As > Sn > Ni > Co > Cd$.

Таблица 1
Table 1

Содержание тяжелых металлов в почвах района Хинганского месторождения олова, мг/кг
Soil heavy metals content of Khingan tin deposit area, mg/kg

Номер пробы	Содержание тяжелых металлов, мг/кг									
	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Pb
1	1564.1	25974.8	8.7	14.5	131.5	2199.3	84.0	15.7	18.4	114.5
2	1162.5	26295.4	4.0	8.9	69.0	447.4	34.1	2.7	28.6	147.2
3	942.5	55718.9	2.2	2.2	541.4	562.2	488.3	1.1	193.4	342.4
4	745.9	23032.5	3.3	8.8	122.7	622.1	46.8	3.6	33.6	165.6
5	3147.4	33122.1	9.2	16.8	36.8	404.4	40.3	1.9	7.7	68.0
6	2031.6	25376.4	8.2	17.6	16.1	171.7	8.5	1.0	5.2	42.9
Среднее	1263.8 ± 931.0	34496.7 ± 12903.8	5.9 ± 3.3	11.5 ± 6.2	152.9 ± 205.4	734.5 ± 770.6	117.0 ± 192.6	4.3 ± 5.93	47.8 ± 5.93	146.8 ± 111.7



В результате перерасчета данных таблицы 1 установлено, что все ТМ, кроме *Fe*, *Ni* и *Co*, находятся в концентрациях выше кларковых: наибольшие превышения характерны для токсичных металлов – *As*, *Cd*, *Sn* и *Zn*; наименьшие – для *Ni*, *Co* и *Fe* (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Содержание тяжелых металлов в почвах района Хинганского месторождения, кларк концентрации (Кк)
Soil heavy metals content of Khingan tin deposit area, clark concentration (Cc)

Номер пробы	Содержание тяжелых металлов, Кк									
	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Sn</i>	<i>Pb</i>
1	1.6	0.6	0.5	0.3	2.8	26.5	49.4	120.6	7.4	7.2
2	1.2	0.6	0.2	0.2	1.5	5.4	20.1	20.7	11.4	9.2
3	0.9	1.2	0.1	0.0	11.5	6.8	287.2	8.6	77.4	21.4
4	0.7	0.5	0.2	0.2	2.6	7.5	27.5	27.3	13.4	10.3
5	3.1	0.7	0.5	0.3	0.8	4.9	23.7	14.9	3.1	4.2
6	2.0	0.5	0.5	0.3	0.3	2.1	5.0	7.5	2.1	2.7
Среднее	1.6	0.7	0.3	0.2	3.3	8.9	68.8	33.3	19.1	9.2

Сравнение содержания ТМ с их кларками позволяет получить информацию об особенностях химического состава компонентов ландшафта относительно среднемирового уровня, но для адекватной оценки необходимо учитывать региональные геохимические особенности изучаемой территории, прежде всего в районах месторождений полезных ископаемых, аномальных по содержанию некоторых химических элементов. Так, в Хингано-Олонойском рудном районе только для олова фоновые и кларковые концентрации имеют достаточно близкие значения (табл. 3) [Лебедева, 1972; Виноградов, 1962], поэтому каждый из них можно использовать в качестве стандарта. Для меди, цинка и свинца, при расчете *Kc* и *Zc*, необходимо учитывать фоновые показатели.

Таблица 3
Table 3

Фоновое и кларковое содержание тяжелых металлов в Хингано-Олонойском рудном районе, мг/кг
Background and clark heavy metals contents in the Khingan-Olono ore area, mg/kg

Элемент	Содержание тяжелых металлов, мг/кг		
	Фоновое [Лебедева, 1972]		Кларк [Виноградов, 1962]
	Горные породы	Почвы и элювиально-делювиальные отложения	Горные породы
<i>Cu</i>	5.3–6.0		47.0
<i>Zn</i>	90.0		83.0
<i>Pb</i>	14.0–15.0		16.0
<i>Sn</i>	3.7–4.0		2.5

В связи с тем, что фоновое содержание ТМ изменяется в широком диапазоне, были рассчитаны минимальное и максимальное значения коэффициентов аномальности (*Kc*) (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Значение коэффициентов аномальности тяжелых металлов в почвах в районе Хинганского месторождения олова
The value of the anomaly heavy metals in soils in the area of Khingan deposits of tin

Номер пробы	Коэффициент аномальности (<i>Kc</i>)			
	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Sn</i>	<i>Pb</i>
1	24.8–26.3	36.7–137.5	6.1–12.3	19.1
2	13.0–13.8	7.5–28.0	9.5–19.1	24.5
3	102.2–108.2	9.4–35.1	64.5–129	57.1
4	23.1–24.5	10.4–38.9	11.2–22.4	27.6
5	6.9–7.4	6.7–25.3	2.6–5.1	11.3
6	3.0–3.2	2.9–10.7	1.7–3.5	7.2



По вышеприведенным значениям Кс произведен расчет суммарного показателя загрязнения Zc.

Согласно шкале Zc [Перельман, Касимов, 1999] практически во всех пробах отмечается превышение допустимого уровня содержания ТМ (рис. 2). Наименьшее значение Zc установлено в пробе №6, расположенной за пределами ведения горных работ, и оценивается как не опасное, а наибольшее, превышающее фон в 15,5 раза в пробе №3, что вероятно связано с факторами, способствующими их накоплению – понижение рельефа и наличие глинистых пород аккумулирующих загрязнители. Экологическое состояние почвенного покрова здесь следует считать чрезвычайно опасным. В среднем, фоновое значение Zc превышено в 6 раз.

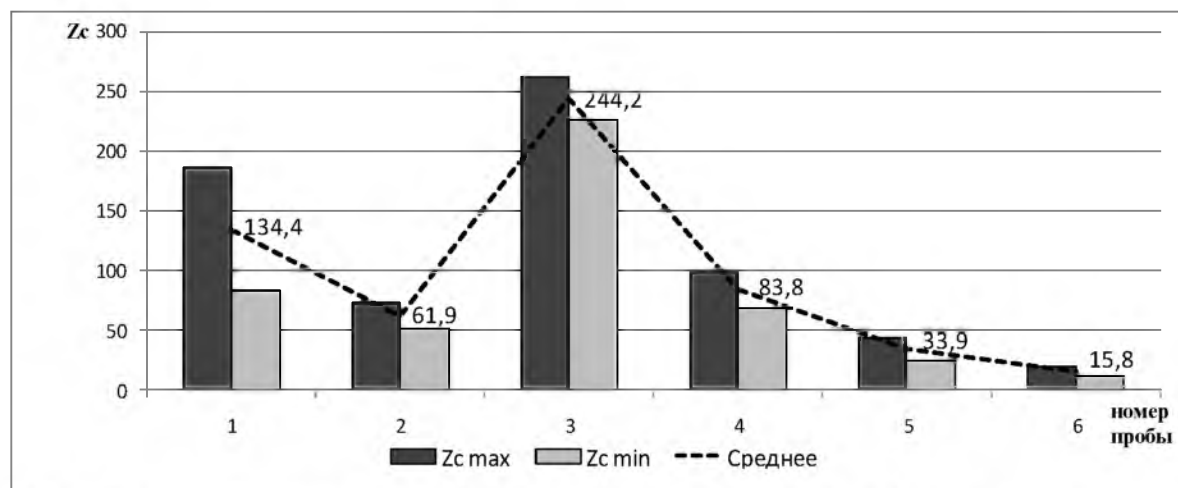


Рис. 2. Значения суммарного показателя загрязнённости почв района Хинганского месторождения олова

Fig. 2. Values of total contaminated index of Khingan tin deposits area soil

Заключение

Таким образом, экологическое состояние почвенного покрова Хинганского месторождения олова характеризуется как опасное и чрезвычайно опасное. В целом, в почвах, расположенных близко к местам ведения горных работ, накоплено большое количество токсичных ТМ. Наиболее опасными в данном отношении являются понижения в рельефе, в которых происходит накопление загрязнителей.

Список литературы

References

1. Админин А.Г., Антонова Н.Е., Бардаль А.Б. и др. 2005. Природопользование Дальнего Востока России и Северо-Восточной Азии: потенциал интеграции и устойчивого развития. Владивосток–Хабаровск, ДВО РАН, 528.

Admidin A.G., Antonova N.E., Bardal' A.B. et al. 2005. Prirodopol'zovanie Dal'nego Vostoka Rossii i Severo-Vostochnoy Azii: potentsial integratsii i ustoychivogo razvitiya. [Natural resources use of the Russian far East and Northeast Asia: potential of integration and sustainable development]. Vladivostok–Khabarovsk, DVO RAN, 528. (in Russian)

2. Бакулин Ю.И., Буряк В.А., Галитчанин и др. 1999. Основные проблемы изучения и добычи минерального сырья Дальневосточного экономического района. Минерально-сырьевой комплекс ДВЭР на рубеже веков. Хабаровск., ДВИМС, 214.

Bakulin Yu.I., Buryak V.A., Galitchanin et al. 1999. Osnovnye problemy izucheniya i dobychi mineral'nogo syr'ya Dal'nevostochnogo ekonomicheskogo rayona. Mineral'no-syr'evoy kompleks DVER na rubezhe vekov. [Basic problems of investigation and extraction of the Russian's Far East mineral sources]. Khabarovsk, DVIMS, 214. (in Russian)

3. Ванеев Е.И. 1931. Биро-Биджан: историческая справка, география, природные богатства, пути сообщения, население, хозяйство, колонизация. Хабаровск, Огиз, Далькрайотделение, 87.

Vaneev E.I. 1931. Biro-Bidzhan: istoricheskaja spravka, geografija, prirodnye bogatstva, puti soobshhenija, naselenie, hozjajstvo, kolonizacija [Birobidzhan: History, geography, natural resources, means of communication, population, economy, colonization]. Habarovsk, Ogiz, Dal'krajotdelenie, 87. (in Russian)

4. Виноградов А.П. 1962. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, 7: 555–571.



- Vinogradov A.P. 1962. Srednie sodержaniya khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh gornykh porod zemnoy kory [Average content of chemical elements in main types of rocks]. *Geokhimiya*, 7: 555–571. (in Russian)
5. Горюхин М.В. 2012. Изучение поступления тяжелых металлов в компоненты окружающей природной среды, на примере Хинганского месторождения оловянных руд Еврейской АО. *Известия Томского политехнического университета*, 320 (1): 189–193.
- Goryukhin M.V. 2012. The study of heavy metals in environmental components, for example Khingansky deposits of tin ore Jewish Autonomous Region. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University]*, 320 (1): 189–193. (in Russian)
6. Горюхин М.В. 2013. Особенности восстановления растительного покрова на хвостохранилищах Хинганского горно-обогатительного комбината. *Региональные проблемы*, 16 (1): 87–91.
- Goryukhin M.V. 2013. Revegetation features on tin tailings of Khingansk mining. *Regional'nye problemy*, 16 (1): 87–91. (in Russian)
7. Журнист В.И., Коган Р.М., Кодякова Т.Е. и др. 2004. Природные ресурсы Еврейской автономной области. Биробиджан, ИКАРП ДВО РАН, 112.
- Zhurnist V.I., Kogan R.M., Kodyakova T.E. et al. 2004. Prirodnye resursy Evreyskoy avtonomnoy oblasti [Natural resources of the Jewish Autonomous Region]. Birobidzhan, IKARP DVO RAN. 112. (in Russian)
8. Зонов Ю.Б., Говорущко С.М., Ганзей К.С. 2008. Современные представления о геосистемах. В кн.: Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков. Т. 1. Природные геосистемы и их компоненты. Владивосток, Дальнаука: 11–13.
- Zonov Yu.B., Govorushko S.M., Ganzey K.S. 2008. Sovremennyye predstavleniya o geosistemakh. In: *Geosistemy Dal'nego Vostoka Rossii na rubezhe XX–XXI vekov. T. 1. Prirodnye geosistemy i ikh komponenty [Geosystems Russian Far East at the turn of the XX–XXI centuries. Vol. 1. Natural geosistemy and their components]*. Vladivostok, Dal'nauka: 11–13. (in Russian)
9. Коростелев П.Г., Семеняк Б.И., Демашов А.М. и др. 2000. Некоторые особенности вещественного состава руд Хинганского месторождения олова. В кн.: Рудные месторождения континентальных окраин. Вып. 1. Владивосток, ДВГИ: 202–225.
- Korostelev P.G., Semenyak B.I., Demashov A.M. et al. 2000. Some aspects of Khingansk tin deposit ore chemical conditions. In: *Rudnyye mestorozhdeniya kontinental'nykh okrain. Vyp. 1 [Ore deposits of continental margins. Vol. 1.]*. Vladivostok, DVGI: 202–225. (in Russian)
10. Лебедева К.В. 1972. Формирование геохимических ореолов и потоков рассеяния на Малом Хингане и их поисковое значение. Дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. Ухта, 219.
- Lebedeva K.V. 1972. Formirovanie geokhimicheskikh oreolov i potokov rasseyaniya na Malom Khingane i ikh poiskovoe znachenie [Formation of geochemical halos and leakage flux in the Malyy Khingan and their search value]. Dis. ... cand. geol.-mineral. sciences. Ukhta, 219. (in Russian)
11. Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. М., МГУ, 610.
- Perel'man A.I., Kasimov N.S. 1999. *Geokhimiya landshafta [Landscape geochemistry]*. Moscow, MGU, 610. (in Russian)
12. Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. 2000. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. Владивосток–Хабаровск, Дальнаука, 174.
- Petrov E.S., Novorotskiy P.V., Lenshin V.T. 2000. *Klimat Khabarovskogo kraya i Evreyskoy avtonomnoy oblasti [The climate of the Khabarovsk Territory and the Jewish Autonomous Region]*. Vladivostok–Khabarovsk: Dal'nauka, 174. (in Russian)
13. Саэт Ю.Е., Ревич В.А., Янин Е.П. и др. 1990. Геохимия окружающей среды. М., Недра, 335.
- Saet Yu.E., Revich V.A., Yanin E.P. et al. 1990. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy [Environment geochemistry]*. Moscow, Nedra, 335. (in Russian)
14. Сидоренко А.В. (гл. ред.). 1986. Геология СССР. Т. XIX. Ч. 1. Геологическое описание. Хабаровский край и Амурская область. М., Недра, 736.
- Sidorenko A.V. (gl. red.). 1986. *Geologiya SSSR. T. XIX. Ch. 1. Geologicheskoe opisaniye. Khabarovskiy kray i Amurskaya oblast' [Geology of the USSR. Vol. XIX. Part 1. Geological description: Khabarovsk Territory and Amur region]*. Moscow, Nedra, 736. (in Russian)
15. Справочник по климату СССР. 1967. Вып. 25. Ч. 3. Ветер. Л., Гидрометеиздат, 318.
- Spravochnik po klimatu SSSR. 1967. Vyp. 25, Ch. 3. Veter. [USSR Climate Handbook. Vol. 25. Part 3. Wind]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 318. (in Russian)
16. Усиков В.И. 2006. Минеральные ресурсы Еврейской автономной области. Опыт их изучения и освоения, проблемы, перспективы. Владивосток, Дальнаука, 144.
- Usikov V.I. 2006. *Mineral'nye resursy Evreyskoy avtonomnoy oblasti. Opyt ikh izucheniya i osvoeniya, problemy, perspektivy [Mineral resources of the Jewish autonomous region. Experience of their study and development, problems and prospects]*. Vladivostok, Dal'nauka, 144. (in Russian)