

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ И БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОСИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКАХ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ В ЯКУТИИ

¹Легостаева Я.Б., ²Шадрина Е.Г., ²Солдатова В.Ю., ¹Дягилева А.Г.

¹Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М.К. Аммосова»

²Биолого-географический факультет, ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М.К. Аммосова», Якутск, Россия (677016, г. Якутск, пр. Ленина, 43), ylego@mail.ru

В работе рассмотрены два подхода оценки состояния природных экосистем: ландшафтно-геохимический и биоиндикационный. Эколого-геохимическая оценка дана на основе суммарного показателя загрязнения почвенного покрова (Z_c) с расчетом значений регионального (C_ϕ) и локального (C) фона, коэффициентов концентрации относительно регионального фона (K_k). Биоиндикационная оценка состояния среды проведена по показателям нарушения стабильности развития организма. В качестве основного критерия рассматривали величину флуктуирующей асимметрии (ΦA) признаков строения жилкования листовой пластинки березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.). Непосредственно на промышленной площадке отмечается общая тенденция к изменению геохимических условий почвенного субстрата. Общие тенденции в изменении качества среды показывают, что наиболее благоприятная обстановка среды прослеживается на удалении до 2,3 км от источников техногенного воздействия, а при продвижении к промышленной зоне величина интегрального показателя увеличивается.

Ключевые слова: трансформация экосистемы, суммарный показатель загрязнения, коэффициент концентрации, биоиндикация, флуктуирующая асимметрия.

ECOGEOCHEMICAL AND BIOINDICATION ASSESSMENT OF TRANSFORMATION OF ECOSYSTEM IN PROCESS DRAFTING OF PRIMARY DEPOSITS OF DIAMONDS IN YAKUTIA

¹Legostaeva Y.B., ²Shadrina E.G., ²Soldatova V.U., ¹Dyagileva A.G.

¹Research Institute of Applied Ecology of the North, North-eastern Federal University named M.K. Ammosova

²Faculty of Biology and Geography, North-eastern Federal University named M.K. Ammosova
Yakutsk, Russia (677016, Yakutsk, Lenin St., 43) ylego@mail.ru

In paper we considered two approaches assess the status of natural ecosystems: ecogeochemical and bioindication. Ecogeochemical assessment is given based on the total pollution index of the soil cover (Z_c) with the calculation of regional and local background, concentration coefficient relative to the of regional background (K_c). Bioindication assessment of the environment carried out on indicators distortion of the stability of the organism. The main criteria are the magnitude of fluctuating asymmetry characteristics of the structure of the venation of the leaf lamella *Betula platyphylla* Sukacz. Directly on the study site there is a general tendency to change the geochemical conditions of the soil substrate. General trends in change the quality of the environment show that the most favorable situation environment can be traced at a distance to 2.3 km away from sources of anthropogenic impacts. And magnitude integral parameter increases in moving to the industrial area.

Key words: transformation of the ecosystem, total pollution index, concentration coefficient, bioindication, fluctuating asymmetry.

Введение. Любое изменение условий окружающей среды является катализатором тех или иных биологических реакций, а горнорудная промышленность является одним из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования.

Территория исследований находится в пределах Средне-Мархинского горно-промышленного района Западной Якутии, включающего в себя Накынское кимберлитовое поле с промышленными месторождениями: трубками Ботуобинская,

Нюрбинская, Майская, кимберлитовым телом Мархинское и целым рядом древних погребенных и современных аллювиальных россыпей, входящих в состав обширной аккумулятивной равнины.

В районе месторождений ведутся работы по строительству и эксплуатации комплекса объектов. Ядром промышленного узла является трубка Нюрбинская, и, следовательно, вся производственная инфраструктура размещена на минимально возможном расстоянии от карьера «Нюрбинский». В состав инфраструктуры Нюрбинского горно-обогатительного комбината (НГОКа) входят: карьер, отвалы вскрышных пород (№ 1 и № 2), располагающиеся в северном и западном направлении от карьера, склад руды и песков (к югу от карьера), обогатительные фабрики № 15 и № 16 с организацией хвостов, пульповодов и насосных станций, находящиеся в верховьях руч. Дюлонг-Отту, карьеры строительных материалов на руч. Лиендокит и Челе, гидроузлы и т.д., вахтовый поселок. Всего в промышленную зону предприятия включено 8 отдельно расположенных промышленных площадок.

Сохранить природные ландшафты при добыче полезных ископаемых трудно, поэтому из оборота неизбежно изымаются все новые и новые лесные угодья. По данным Госучета, на 01.01. 2005 г. площадь нарушенных земель в Республике Саха (Якутия) составляет порядка 37 180 га, из них на территории алмазодобывающих предприятий ЗАО «АЛРОСА-Нюрба» приходится порядка 1 316,0 га [1]. При этом необходимо помнить, что в данном случае официальная статистика считает только прямые, непосредственные нарушения природных ландшафтов, не учитывая опосредованное химическое загрязнение естественного почвенного покрова. Официальными службами не принимается во внимание существование опосредованного аэро- и гидрозагрязнения, влияющих на наземные и водные экосистемы далеко за пределами горных отводов, не учитывается зона беспокойства для населения млекопитающих и птиц.

Цель исследования. Анализ трансформации экосистем по эколого-геохимической оценке состояния компонентов экосистемы и биоиндикационной оценке качества среды.

Материал и методы исследования. Эколого-геохимическая оценка состояния территории исследования дана по значению суммарного показателя загрязнения почвенного покрова (Z_c) с расчетом значений регионального (C_ϕ) и локального (C) фона, коэффициентов концентрации относительно регионального фона (K_k) [5]. В ходе полевых работ в пределах промышленной площадки заложено 50 комплексных точек наблюдения с отбором проб почвы, почвогрунтов и растительности, а также биопроб для биоиндикационного анализа качества среды.

Биоиндикационная оценка состояния среды в районе промплощадки карьера «Ботуобинский» проведена по показателям нарушения стабильности развития организма [2]. В качестве объекта исследований выбрана береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.) как наиболее распространенный в районе исследований вид древесных растений, в качестве основного критерия рассматривали величину флуктуирующей асимметрии (ФА) признаков строения жилкования листовой пластинки. Величина показателя ФА вычисляется как среднее относительное различие между сторонами на признак. Данный метод неоднократно апробирован как для оценки качества среды в зоне антропогенного воздействия, так и для оценки состояния растений в природных биотопах, причем показано, что в благоприятных условиях отклонения от идеально симметричного состояния минимальны, но возрастают при усилении негативных воздействий природного или антропогенного характера [3; 7].

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта «Создание комплексной экологически безопасной

инновационной технологии добычи и переработки алмазоносных руд в условиях Крайнего Севера», выполняемого с участием АК «АЛРОСА» (ОАО) и ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова».

Результаты и их обсуждение. В целом на территории Накынского кимберлитового поля отмечено сильное нарушение почвенно-растительного покрова на площади порядка 8,7 км² – это территории промышленной площадки НГОКа, где образованы различные насыпи, хвостохранилище, водохранилище, карьер, отвалы, т.е. отмечена сильная трансформация ландшафтного облика в целом.

В составе почвенного покрова непосредственно нарушенных территорий промышленной площадки Нюрбинского ГОКа происходит постепенное накопление элементов группы железа – Mn, Co, Ni. Активно и обособленно проявляет себя свинец и цинк, накопление которых пространственно приурочено к центру промышленной площадки – это карьер и отвалы, а также к дорожным насыпям.

Средней степени трансформации, в том числе и опосредованному воздействию, подвержено порядка 31,3 км² – это территории с частично нарушенным растительным покровом или участки, подвергающиеся химическому загрязнению наземной части растений и поверхностных органических горизонтов почв, принимающие на себя рассев мелкодисперсных частиц с отвалов и насыпей.

Таким образом, около 10% территории промышленной площадки характеризуется умеренно опасной экологической ситуацией по значениям Zc (суммарного показателя загрязнения почвенного покрова) по содержанию подвижных форм микроэлементов. Сюда пространственно входят участки сильной и средней степени трансформации почвенно-растительного покрова.

На остальной территории, характеризующейся слабой степенью трансформации, значительных изменений в микроэлементном составе почвогрунтов промышленной площадки за период освоения не произошло. Поведение многих элементов в значительной степени контролируется изменением pH и Eh почвенной среды. На данный момент эти наиболее чувствительные показатели происходящих в почвах и почвогрунтах процессов, определяющих степень миграции химических элементов, остаются стабильными, что говорит пока только о стадии накопления элементов в почвах. Слабую миграционную способность многих микроэлементов в сложившихся геохимических условиях почвогрунтов промышленной площадки НГОКа подтверждают данные атомно-адсорбционного анализа водных и соляно-кислых вытяжек, которые определяют содержание подвижных форм элементов, и в соответствии с этим невысокие показатели Zc, варьирующие в интервале 20–35 и относящиеся к категории «умеренного загрязнения» (табл. 1). Опасная категория загрязнения отмечена точечно, не образуя площадных аномалий, встречается в 12% от всех точек наблюдения и приурочена к участкам сильной трансформации (борта карьера и хвостохранилища).

Таблица 1 – Показатели состояния среды в зоне влияния НГОКа

№ т.н.	Биотоп	Показатель ФА		Zc
		М	м	
5	Район водохранилища	0,043	0,0025	25,53
6	Дробильно-сортировочная установка	0,0528	0,0024	23,55
7	Открытый участок, имеется небольшое озеро	0,042	0,0021	22,25
8	Участок леса между двух дорог	0,0498	0,0018	28,56
10	Правый приток р. Дюлунг	0,047	0,0029	32,04

13	Опушка лиственничного леса. 2 км юго-восточнее точки 32	0,046	0,0028	26,22
15	3–4 км восточнее трубки Нюрбинской	0,048	0,0035	31,17
18	2 км западнее поселка Геологов	0,047	0,0025	26,55
19	Район трубки Ботубобинской, березово-голубично-багульниковый лиственничник	0,048	0,0026	30,28
20	Западнее трубки Ботубобинской, рядом с отвалом некондиционных песков	0,045	0,0018	25,38
21	Участок в 2 км севернее точки 20, недалеко от полигона для захоронения и складирования отходов	0,053	0,0029	33,97
22	Южнее склада ВВ, березы на опушке молодого лиственничника	0,045	0,0023	25,12
23	500 м от склада ВВ, около дороги	0,049	0,0024	29,18
24	Перекресток дорог, ведущих к р. Марха и фабрике. Район отвала карьера «Нюрбинский»	0,049	0,0032	26,24
25	Лиственничник багульниково-голубичный, 5 м от дороги, 7 км юго-западнее вахтового поселка	0,049	0,0025	30,00
26	5 км юго-западнее вахтового поселка	0,051	0,0021	26,95
27	2 км севернее вахтового поселка	0,044	0,0019	39,27
28	Территория вертолетной площадки. Березово-лиственничный лес	0,045	0,0023	29,39
29	Район старой нефтебазы	0,04	0,0023	33,20
30	Рядом с фабрикой № 15 (точка № 30)	0,046	0,0025	29,54
31	Территория хвостохранилища (№ 31)	0,045	0,0029	28,41
32	В 1,5 километрах от хвостохранилища (точка № 32)	0,045	0,003	29,58
33	Район фабрики № 16 (между фабрикой и хвостохранилищем)	0,042	0,0022	25,07
34	Окраина карьера трубки Нюрбинской	0,052	0,0025	26,43
35	Промзона у дороги	0,045	0,0034	28,48
43	3–4 км севернее поселка вахтовиков	0,044	0,0029	28,59

Проведенные на территории Западной Якутии исследования показали, что в пределах среднетаежной подзоны величина показателя ФА березы плосколистной свидетельствует о благополучном состоянии растений, варьируя в пределах 0,034–0,040. Непосредственно в зоне воздействия Нюрбинского ГОКа величина показателя ФА в разных точках варьировала в пределах от 0,040 до 0,053 (табл. 1). Низкие показатели ФА наблюдаются на территориях, подвергающихся непрямому техногенному воздействию.

В сравнении с этими точками высокий показатель нарушения стабильности развития отмечен у деревьев, произрастающих в промышленной зоне и в биотопах, находящихся в непосредственной близости от проезжей части дорог.

Большинство исследованных точек по пятибалльной шкале оценки отклонений состояния организма от условной нормы относятся к третьему баллу, категория «Загрязненные районы» – показатель ФА от 0,045 до 0,049 [6].

Четыре точки относятся к категории сильно загрязненных (0,05–0,054) – это карьер трубки Нюрбинской, точка рядом с дробильно-сортировочной установкой и недалеко от проезжей части; точка, расположенная рядом с дорогой недалеко от полигона для захоронения и складирования отходов.

Сравнительный анализ величины показателя ФА в разные годы показал, что в промышленной зоне наблюдается ухудшение качества среды, что проявляется в повышении показателя ФА (рис. 1).

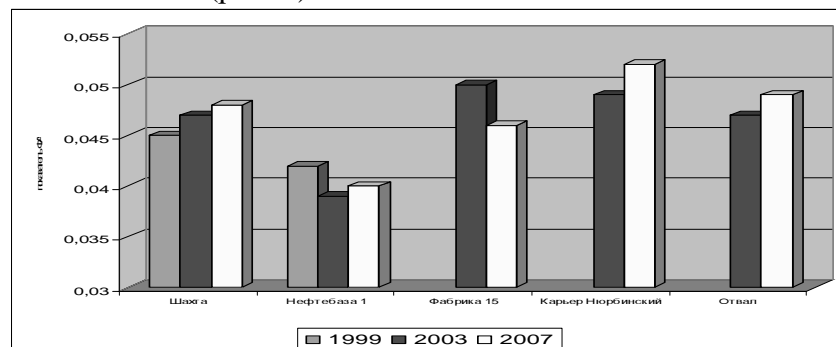


Рис. 1. Сравнение показателей ФА по годам исследования.

Средний показатель ФА в период с 1999 по 2007 г. повысился с 0,044 до 0,047, тогда как за последние четыре года существенного ухудшения качества среды не отмечено, за исключением точек, расположенных в непосредственной близости от карьера.

В некоторых точках отмечено даже снижение показателя ФА, что, по-видимому, объясняется снижением уровня воздействия данных источников загрязнения. Что, например, наблюдается на территории нефтебазы, которая в настоящее время является недействующей, а также на территории обогатительной фабрики № 15, работающей только в летнем режиме.

Для оценки влияния степени трансформации экосистемы рассмотрена зависимость колебаний показателя ФА от почвенных геохимических факторов. Главный путь поступления микроэлементов в растения – это адсорбция корневой системой, механизм поглощения которой может носить как метаболический, так и неметаболический характер. Если растительность не дифференцировать по ботаническим таксонам, а рассматривать в целом растительный материал, то в большинстве случаев концентрация в почве микроэлементов положительно коррелирует с содержанием этих микроэлементов в растениях [4]. На эту общеизвестную закономерность оказывает влияние ряд факторов: 1) тип почв, которому соответствуют определенные морфологические и физико-химические свойства, определяющие геохимические условия среды; 2) вид растения и стадия его развития; 3) степень воздействия внешних источников и т.д. Поэтому зависимость между содержанием микроэлементов в почвах и их поступлением в растения является сложной функцией и не всегда носит линейный характер. Исключение составляют безбарьерные растения и растения-концентраторы. При биогеохимической оценке территории промышленной площадки НГОКа в качестве объектов исследования были взяты листья березы плосколистной (*Betula platyphylla Sukacz*) и определена зависимость значений ФА от содержания подвижных форм микроэлементов в почвах и почвогрунтах (рис. 2).

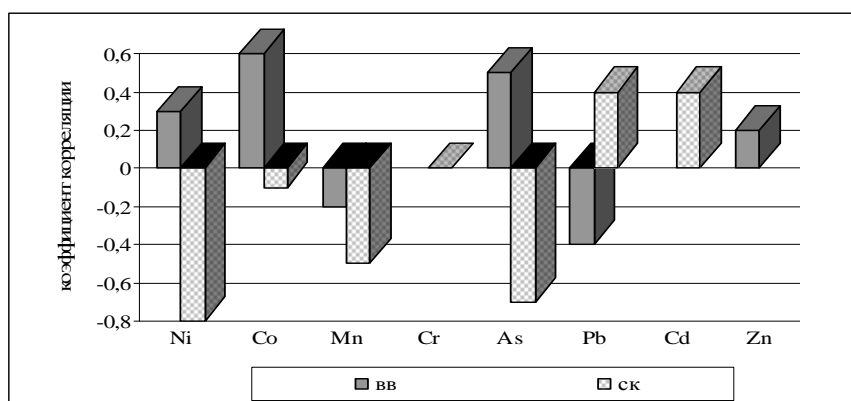


Рис. 2. Зависимость значений ФА от содержания подвижных форм микроэлементов в почвах и почвогрунтах промышленной площадки НГОКа:
 вв – водорастворимые формы; ск – кислоторастворимые формы.

Наиболее яркая зависимость прослеживается у показателя ФА с водорастворимыми формами микроэлементов: увеличение водорастворимых форм кобальта и мышьяка приводит к повышению показателя ФА ($r = 0,6$ и $0,5$ соответственно). Водорастворимые формы наиболее доступны для растений, и увеличение их концентрации может оказать токсичное действие для растений. И наоборот, в почвах Накынского кимберлитового поля в целом отмечено аномально высокое содержание Cr-Ni-Co, а также V-Mn, определяющих геохимическую специфику кимберлитового магматизма территории исследования. Но несмотря на высокие концентрации Ni в почвах, увеличение его содержания в комплексе с Co, As и Mn приводят к уменьшению значения ФА. Следовательно, никель находится в почвах в трудно растворимом состоянии и слабо усваивается растениями.

На миграцию разных форм микроэлементов влияют как внешние условия среды (целостность почвенного профиля, влажность, криогенное перемешивание и т.д.), так и внутренние геохимические условия. Например, геохимические условия природных почв территории Накынского кимберлитового поля и почвогрунтов промышленной площадки НГОКа отличаются, что естественно сказывается на состоянии растительности. Содержание разных форм микроэлементов в природных почвах в целом не оказывает сильной зависимости на вариации ФА, что обуславливает фоновое природное состояние экосистемы (рис. 3). Совершенно другая ситуация наблюдается на участках с техногенно преобразованными почвогрунтами, которые отличаются своеобразием геохимических условий с повышением концентрации наиболее активных подвижных форм многих микроэлементов, например никеля, марганца и мышьяка ($r = -0,49 - (-0,75)$), что сразу нашло свое отражение в колебаниях значений ФА. Отмечено, что с повышением содержания кислоторастворимых форм свинца и кадмия увеличивается значение ФА ($r = 0,47-0,53$).

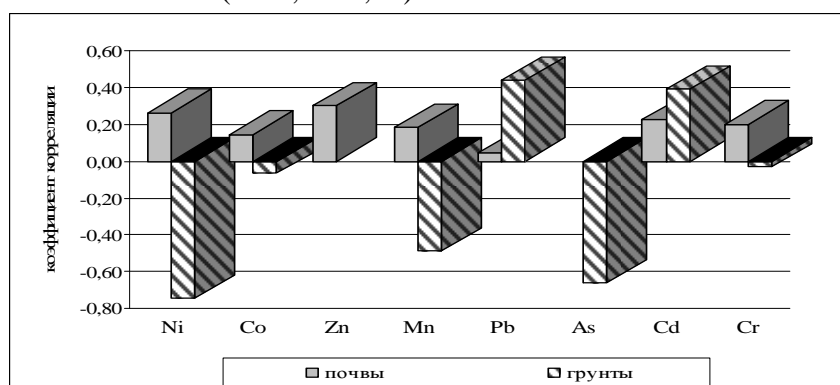


Рис. 3. Зависимость показателя ФА от содержания кислоторастворимых форм микроэлементов в природных почвах и техногенно преобразованных почвогрунтах промышленной площадки НГОКа.

Таким образом, общие тенденции в изменении геохимических условий и качества среды показывают, что наиболее благоприятная обстановка прослеживается на удалении от центра промплощадки и дорог до 2,3 км, где преобладают слабо трансформированные ландшафты – не нарушен почвенно-растительный покров, практически отсутствует долговременное опосредованное воздействие. Надо отметить, что если в предыдущие годы исследования основное загрязнение наблюдалось в южном и юго-восточном направлении, то на сегодняшний момент отмечается значительное ухудшение качества среды и в юго-западном направлении, причем повышение показателя ФА отмечено на расстоянии в пределах 7 км от источника загрязнения, что свидетельствует о расширении зоны техногенного воздействия за последние годы эксплуатации месторождения (рис.4).

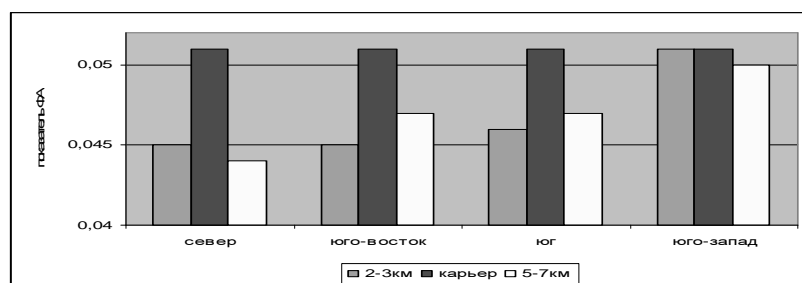


Рис. 4. Показатели ФА в зависимости от удаленности карьера «Нюрбинский».

Итогом анализа состояния компонентов экосистем территории Ханья-Накынского междуречья построена карта-схема воздействия НГОКа на наземные экосистемы в масштабе 1 : 100 000 (рис. 5).

не нарушены) прослеживается на удаление до 7,2 км. Возможно, что химическое загрязнение, а вместе с тем и угнетение растительности в этом направлении, связано с общим уклоном местности и формированием водораздела для системы ручьев Лиендокиит и преобладающим направлением ветра, особенно в зимний период.

Выводы. По итогам наблюдений непосредственно на промышленной площадке НГОКа отмечается общая тенденция к изменению геохимических условий почвенного субстрата, выраженного в увеличении значений рН в сторону подщелачивания. А следовательно, создаются условия для активизации процессов засоления (что не свойственно природным почвам данной территории), т.е. накопления подвижных наиболее опасных форм таких элементов, как Mn, Zn, Ni, As.

Судя по величине показателя ФА березы плосколистной вне зоны техногенного воздействия, состояние окружающей среды в регионе соответствует природному эволюционно сложившемуся. Общие тенденции в изменении качества среды показывают, что наиболее благоприятная обстановка среды прослеживается на удалении до 2,3 км от источников техногенного воздействия, а при продвижении к промышленной зоне величина интегрального показателя увеличивается. Биомониторинг состояния окружающей среды в районе НГОКа по показателям нарушения стабильности развития организмов позволяет нам утверждать, что данная территория является типичным участком среднетаежных ландшафтов.

Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды в Республике Саха (Якутия) в 2008 г. : Правительство Респ. Саха (Якутия), Мин-во охраны природы Респ. Саха (Якутия) / сост. А.И. Олесова. – Якутск : Компания «Дани Алмас», 2009. – 208 с.
2. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г. и др. Здоровье среды: практика оценки. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 318 с.
3. Захарова В.И. Динамика растительности субарктических тундр и притундровых редколесий под влиянием горных разработок (низовья р. Яны) : автореферат дисс. ... канд. биол. наук. – Якутск, 2000. – 18 с.
4. Легостаева Я.Б. Анализ эколого-геохимического состояния почв при освоении Накынского кимберлитового поля // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 3. – С. 21–30.
5. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими элементами. – М. : Минздрав СССР, 1987. – 25 с.
6. Чистяков Г.Е. Водные ресурсы рек Якутии. – М. : Наука, 1964.
7. Шадрина Е.Г. [и др.] Биоиндикация воздействия горнодобывающей промышленности на наземные экосистемы Севера (морфогенетический подход). – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 2003. – 110 с.

Рецензенты:

Вольперт Я.Л., д.б.н., главный инженер ООО «НПО Прикладной экологии Севера», г. Якутск.

Маршинцев В.К., д.г-м.н., профессор, академик Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Якутск.