

## СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ АЙХАЛЬСКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ЯКУТИЯ)

М. А. Хованская

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 14 сентября 2015 г.

**Аннотация:** проведена эколого-геохимическая оценка состояния элементов растительности на территории Айхальского горнопромышленного комплекса, расположенного в зоне распространения вечномерзлых пород. Выявлены основные ведущие загрязняющие элементы, к которым относятся тяжёлые металлы. Основными причинами их повышенного содержания в элементах растительности являются природный состав горных пород, среди которых кимберлиты, граниты, гнейсы и гранито-гнейсы. Техногенный фактор формирования аномальных содержаний исследуемых загрязнителей заключается в проведении взрывных и буровзрывных работ.

**Ключевые слова:** эколого-геохимическая оценка, растительность, условия вечной мерзлоты, геологоразведочная и горная деятельность, природные и техногенные факторы, тяжёлые металлы.

### CONTENT OF SPECIFIC HEAVY METALS IN PLANTS ASSOCIATION VEGETATION IN AIKHAL'S MINING COMPLEX TERRITORY (YAKUTIA)

**THE SUMMARY** *ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE ELEMENTS OF VEGETATION IN THE TERRITORY AIKHAL MINING COMPLEX, LOCATED IN THE ZONE OF PERMAFROST. THE BASIC ELEMENTS OF MAJOR POLLUTANTS, WHICH INCLUDE HEAVY METALS. THE MAIN REASONS FOR ITS HIGH CONTENT IN ELEMENTS OF NATURAL VEGETATION ARE THE COMPOSITION OF ROCKS, INCLUDING KIMBERLITES, GRANITE, GNEISS AND GRANITE-GNEISSES. ANTHROPOGENIC FACTORS OF FORMATION OF ANOMALOUS CONTENTS OF THE STUDIED POLLUTANTS IS BLASTING WORKS.*

**KEYWORDS** *ECOLOGICAL GEOCHEMICAL ASSESSMENT, VEGETATION, PERMAFROST CONDITIONS, EXPLORATION AND MINING ACTIVITY, NATURAL AND MAN-MADE FACTORS, HEAVY METALS.*

Уровень химического загрязнения растительности характеризует степень неблагоприятного воздействия химических веществ на здоровье населения как природного, так и техногенного происхождения. Айхальский горнопромышленный комплекс (ГПК), на территории которого ведутся поиск, разведка, добыча и переработка алмазов, характеризуется уникальными природными условиями, а именно распространением вечномерзлых пород. Это эндемичные территории, геозоологические системы (ГЭС) которых формируются в сложном взаимодействии абиотических и биотических компонент. Основное противоречие состоит в ограниченности существующего подхода для районов горнодобывающей деятельности, расположенных в зоне вечной мерзлоты. Несмотря на широкий фронт геологоразведочных и горных работ, проводимых на территории Сибири, включая Айхальский ГПК, в настоящее время отсутствуют исследования по геозоологической оценке их последствий.

Работы многих исследователей показали, что между химическим составом растений и элементным составом среды существует определенная связь, но пря-

мая зависимость содержания тяжёлых металлов (ТМ) в растениях от содержания в почве часто нарушается из-за избирательной способности растений к накоплению элементов в необходимом количестве [1]. Результаты исследований также свидетельствуют о том, что одни виды растений способны накапливать высокие концентрации ТМ и проявлять устойчивость к ним, в то же время другие растения стремятся снизить поступление ТМ путем максимального использования своих барьерных функций [2].

Горнодобывающая деятельность является причиной преобразования эколого-геохимической обстановки района ее проведения, которая отражается и на состоянии растительности, являющейся прямым индикатором экологической обстановки территории. Это связано с применением буровзрывных работ, при которых значительные объёмы загрязняющих веществ (ЗВ) в виде буровзрывной пыли выбрасываются в атмосферу. Их миграция и осаждение, а также режим накопления ЗВ компонентами природной среды, в первую очередь, растительностью как элемента биоты, зависят от ряда природных и техногенных фак-

торов. Данное обстоятельство определяет приоритетность изучения эколого-геохимических аномалий в растительности горнодобывающих районов.

Растительность Айхальского района может быть отнесена к эндемикам.

**Эндемичность** (греч. endemos местный, от эн- + demos область, страна, народ) – свойство отдельных видов растений постоянно существовать в определенной местности при наличии определенных природных условий [3, 4].

Растительность изучаемой территории характеризуется повышенными концентрациями свинца, меди, цинка, железа, марганца и других тяжелых металлов, что объясняется близким расположением к земной поверхности пород кристаллического фундамента, в состав которых входят данные компоненты. Следовательно, отличительной чертой растительности Айхальского района является естественное содержание высоких концентраций тяжелых металлов.

Растительный покров Республики Саха (Якутия), как и любого обширного района, весьма неоднороден. На территории республики четко проявляется широтная зональность и меридиональные изменения. На 40 % территории, занятой горными сооружениями, хорошо выражена высотная поясность.

Кроме современных физико-географических условий на характер растительности наложили отпечаток различия в возрасте регионов, особенно - сложные процессы четвертичного периода. Многообразные антропогенные воздействия также сказались на особенностях растительного покрова, вызвав появление пирогенных, техногенных и прочих вторичных типов.

Растительность района бедна и представлена редкостойными лесами даурской лиственницы, по долинам рек встречается сибирская ель. Лиственничные леса (81,9 % лесопокрытой площади) в наибольшей степени адаптированы к холодным и влажным мерзлотным почвам, к резкоконтинентальному климату с

суровой и продолжительной зимой.

Водораздельная часть территории покрыта угнетенным, низкорослым лесом с густыми зарослями кустарниковой растительности: низкорослая ива, карликовая береза и ольха.

В хозяйстве растительность используется преимущественно как пастбища северного оленя. Она представляет также интерес как база существования ряда ценных промысловых зверей: травоядных (дикий северный олень) и хищников (песец), а также птиц (куропатки, утки, гуси и другие). Растительность в исследуемом районе содержит ряд пищевых (брусника, голубика, морошка, грибы), лекарственных (одуванчик, золотой корень, кисличник) и декоративных (маки, лапчатка, незабудка, мытники и другие) растений, запасы которых используются в ничтожной степени.

Горная деятельность, ведущаяся на территории Айхальского горнопромышленного комплекса (ГПК), представлена следующими видами геологических работ: поисковые, разведочные, добычные и перерабатывающие.

Анализируя схему участков геологических работ в Айхальском ГПК (рис. 1), можно сделать вывод, что около 40 % его территории занимают участки поисковых работ, в состав которых входят аэросъемка, комплекс геолого-геофизических исследований, гравимагнитные, петрофизические, геохимические и шлиховые работы.

К юго-западу от поселка Айхал располагаются участки геологоразведочных работ, занимающие около 20 % изучаемой территории. Данные участки относятся к геологоразведочному Алаakit-Моркокинскому объекту, отнесена к перспективной на алмазонасность. Именно на указанном объекте с 2005 по 2008 гг. велись буровые и взрывные работы с целью обнаружения коренных месторождений алмазов.

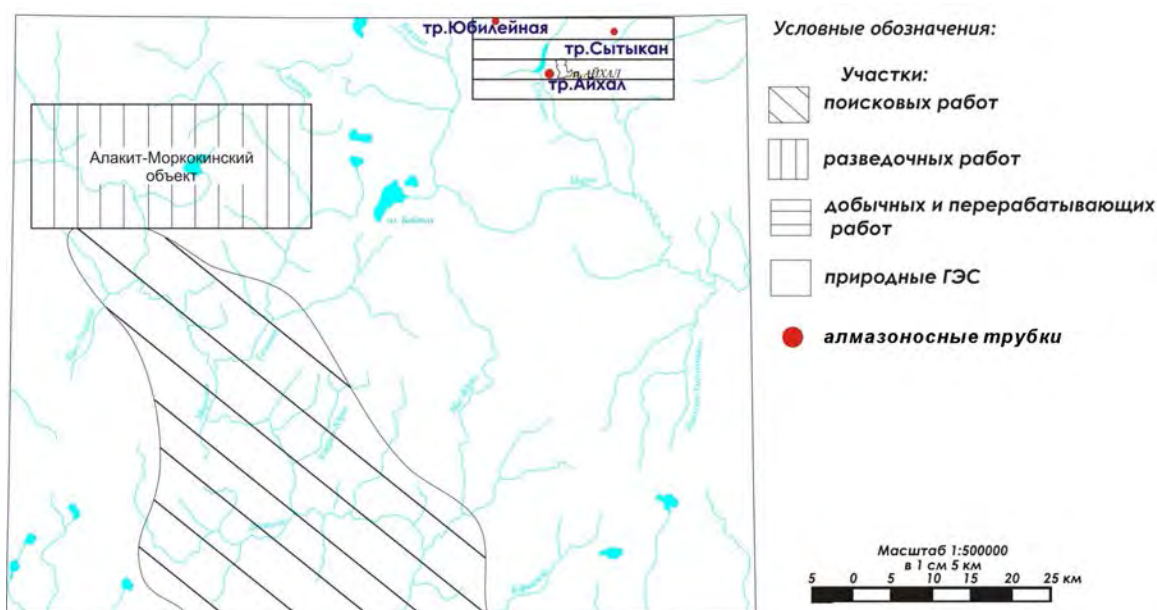


Рис. 1. Схема освоения территории Айхальского горнопромышленного комплекса.



Рис. 2 Карьер трубки Айхал.

Около 5–7 % Айхальского ГПК занимают участки добычных и перерабатывающих работ. Они приурочены к алмазосодержащим трубкам Айхал, Сытыкан (Сытыканская), Юбилейная и располагаются в северо-восточной части изучаемой территории.

С 1955 года в Айхальском районе ведётся алмазодобыча открытым карьерным способом на трёх месторождениях, среди которых трубки «Айхал», «Сытыкан» и «Юбилейная».

Месторождение "Айхал" было открыто 22 января 1960 г. Трубка "Айхал" расположена в северо-западной Якутии, в 450 км севернее г. Мирный, в зоне многолетней мерзлоты (рис. 2). Месторождение приурочено к левому склону долины ручья Сохсоолох-Мархинский и представляет собой трубку взрыва, вытянутую в северо-восточном направлении.

В 1960–61 гг. трубка "Айхал" была разведана до глубины 400 м. В последние годы проведена доразведка месторождения до глубины 900 м.

Горные работы на месторождении были начаты в 1961 г. В соответствии с проектом, вскрытие рабочих горизонтов осуществлено внешней капитальной траншеей, продолжением которой является система внутренних траншей с петлевой формой трассы, расположенных по северному борту карьера и обеспечивающих доступ к нижним горизонтам. Айхальский

карьер расположен на крутом левом склоне долины р. Сохсоолох и представляет собой типично нагорный карьер. В 1981 г. отработка запасов алмазов трубки Айхал открытым способом была завершена: в пределах юго-западной пониженной части месторождение отработано в среднем до глубины 200,0–205,0 м (горизонт +295,0 м), в пределах северо-восточной повышенной части – до глубины 260,0–270,0 м (горизонт +260,0 м.). В 1989 г. началась реконструкция карьера с целью отработки разведанных запасов алмазов до горизонта +230,0 м (глубина в северо-западной части карьера около 300,0 м). С 1991 г. в процессе реконструкции в бортах карьера началась добыча кимберлитов, которые перерабатывались на фабрике № 8.

По мере реконструкции карьера и добычи кимберлитов дно карьера в 1997 г. достигло проектной отметки (+230,0 м), после чего здесь был организован участок по добыче кимберлитов подземным способом из северо-западного борта карьера - в направлении погружения рудного тела.

Кимберлитовая трубка "Сытыканская", расположенная в истоках ручья Сытыканский, в 27 км к северо-

востоку от поселка Айхал, была открыта в августе 1955 г.; Месторождение состоит из двух самостоятельных кимберлитовых тел, из которых только северо-восточное имеет промышленное значение. Запасы алмазов по трубке "Сытыканская" утверждены до глубины 350,0 м. Выемка и погрузка горной массы ведутся экскаваторами ЭКГ-8И, транспортирование – автосамосвалами БелАЗ-7548. Горная масса подготавливается к выемке методом короткозамедленного взрывания с использованием детонирующего шнура. Низкоплотные взрывчатые вещества обладают рядом характерных свойств, которые позволяют производить взрывание кимберлитов в "щадящем" режиме.

Коренное месторождение алмазов трубки "Юбилейная" открыто в 1975 г., в 15 км к северо-западу от поселка Айхал. Промышленные руды представлены кимберлитами, плотность которых составляет 2,31 т/м<sup>3</sup>. Кимберлитовая трубка "Юбилейная" состоит из трех рудных стволов – западного, центрального и восточного, сложенных различными типами руд, которые характеризуются специфическими текстурно-структурными признаками, вещественным составом и содержанием полезного компонента. Восточный и западный рудные стволы имеют дайкообразную форму. Трубка "Юбилейная" также находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых по-

род. В связи с наличием талых грунтов под озерами на карьере предусмотрены водоотливные установки.

Запасы алмазов по трубке Юбилейная разведывались в два этапа: на первом – до глубины 500,0 м, на втором – до глубины 1100,0 м.

Горно-геологические и гидрогеологические условия, а также климатические особенности месторождения трубки "Юбилейная" в совокупности определяют достаточно сложные условия работы. Однако, контуры карьера обеспечивают наиболее полную выемку запасов, имеющих относительно высокое содержание полезного компонента, и исключают возможность притока в карьер минерализованных вод. По этим условиям глубина карьера в центральной и западной частях составит 500 м, в восточной – 400 м. Срок отработки карьера разведанными запасами (запасами первой очереди) составляет 27 лет. Объемы вскрышных пород в контуре достигают 386 млн м<sup>3</sup>.

С целью оценки влияния поисковых, разведочных, горнодобывающих и горноперерабатывающих работ на компоненты природной среды были проведены геоэкологические исследования, в процессе которых рассмотрено состояние элементов растительности (мхов и лишайников).

Общая площадь участка исследований, включающих поисковые, разведочные, добычные и перерабатывающие работы, составляет около 15500 км<sup>2</sup>, южная граница участка расположена на расстоянии около 100 км. от пос. Айхал. Обоснование контуров участка исследований производилось в 2010 году на стадии предварительных геофизических исследований.

Значительная площадь исследования обусловлена необходимостью решения двух задач:

1. изучение *пространственного влияния* бурозрывных выбросов карьера по алмазодобыче;

2. *сравнительная оценка* воздействия поисковых, разведочных, горнодобывающих и перерабатывающих работ, проводимых в пределах Айхальского горнопромышленного района на компоненты природной среды, и выявление максимально деградированных территорий.

Необходимость изучения пос. Айхал и района, расположенного от него к югу и юго-западу, обусловлена тремя факторами:

1. На основании предшествующих геофизических и геологических работ данная территория была отнесена к перспективной с точки зрения алмазодобычи. В этой связи около 50 лет на данной площади ведётся интенсивная геологоразведочная деятельность.

2. В изучаемом районе преобладают северные и северо-западные ветра, что определяет направление основного воздействия Айхальского ГПК на компоненты природной среды.

3. Юго-западнее пос. Айхал (40 км) располагается Алаakit-Моркокинский объект, где в последнее десятилетие проводились крупномасштабные разведочные работы по поиску алмазопоявлений.

Оценка степени воздействия поисковых, разведочных, добычных и перерабатывающих работ проводилась:

– в зоне влияния добычных и перерабатывающих работ, которые ведутся на алмазных трубках Айхал, Юбилейная и Сытыкан;

– на геологоразведочном Алаakit-Моркокинском объекте, который расположен в 40 км в юго-западном направлении от пос. Айхал и входит в пределы Айхальского ГПК;

– на территории проведения поисковых работ, расположенной южнее пос. Айхал (район рек Моркока, Делингде, Мас-Юрях, Тегюрюк и т.д.) (рис. 3).

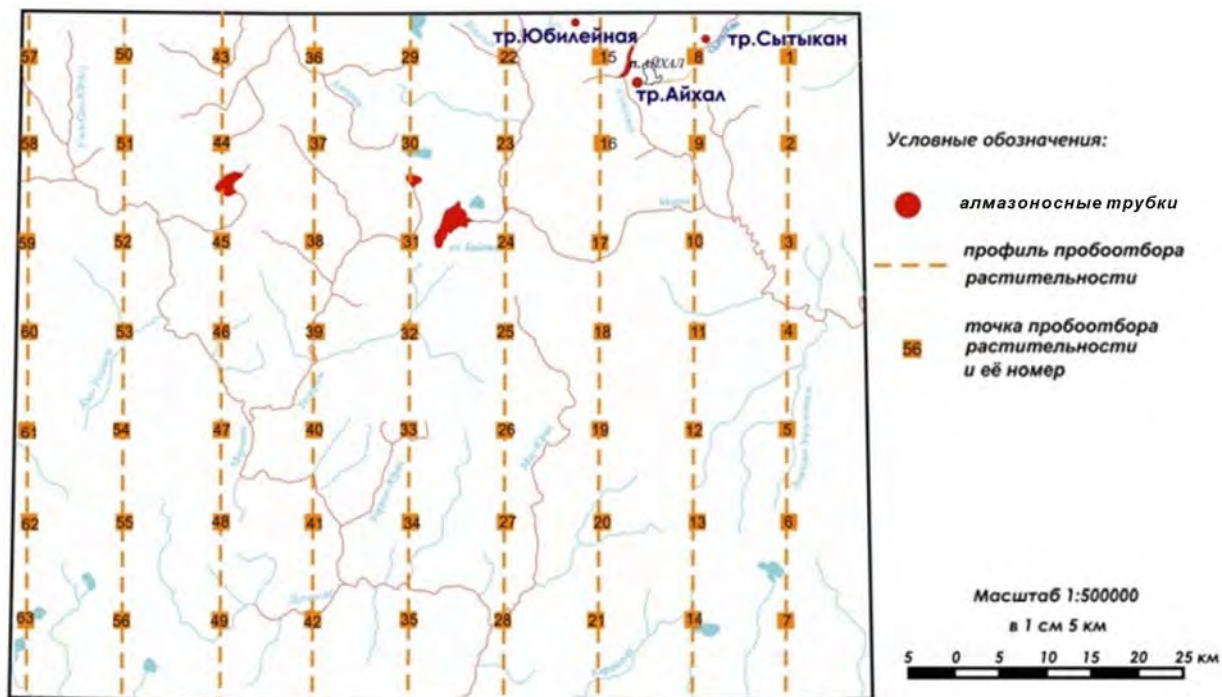


Рис. 3. Карта пробоотбора в Айхальском горнопромышленном комплексе.

Химический состав *элементов растительности* изучался с помощью количественного атомно-сорбционного анализа, проведенного в ЦАЛ АК "АЛ-РОСА", г. Мирный; были изучены концентрации следующих микрокомпонентов в золе мхов и лишайников: Sr, Ba, Mn, Cu, Zn, Co, Ti, V, Cr, Ni, Pb, P, Sc, Ga, Nb, Mo, Ag, Sn.

При эколого-геохимической оценке растительности изучаемой территории рассчитывались значения коэффициентов концентрации по следующей формуле 1:

$$K_{k_i} = C_i / ПДК_i, \text{ где} \quad (1)$$

$K_{k_i}$  – коэффициент концентрации  $i$ -того вещества;

$C_i$  – содержание  $i$ -того вещества в растительности;

ПДК $_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -того вещества в растительности.

Полученные результаты эколого-геохимической оценки растительности ранжировались по градациям [4], указанным в таблице 1.

Таблица 1

Оценка геоэкологического состояния компонентов ГЭС [4]

Оценка состояния ГЭС	Растительность
	Загрязняющие элементы, ПДК
Допустимое	<1
Умеренно опасное	1-2
Опасное	2-5
Высоко опасное	5-10
Чрезвычайно опасное	>10

С целью оценки экологического состояния элементов растительности Айхальского ГПК были выделены следующие элементы-загрязнители: медь, хром, никель, цинк, и свинец (рис. 4).

Выбор изучения указанных тяжёлых металлов в составе растительности объясняется тем, что именно по данным микрокомпонентам фиксируются наибольшие превышения значений ПДК. Это объясняется составом подстилающих пород, представленных гранитами и гнейсами.

На карте экологического состояния растительности по содержанию *меди* (рис. 4а) видно, что поисковые работы не оказывают существенного негативного воздействия на мхи и лишайники. Это подтверждается допустимым уровнем загрязнения ГЭС. Данная зона занимает 50–60 % исследуемого района.

Геологоразведочные работы, проводимые на Алакит-Моркокинском объекте, оказывают гораздо большее воздействие на состояние растительности. Оно проявляется в превышении предельно допустимых концентраций содержания меди в 2–3 раза. Наибольшая степень деградации фиксируется в районе оз. Ого-Кюэль, где бурение разведочных скважин проводилось по наиболее густой сети, и проявляется в умеренно опасном и опасном уровне загрязнения.

Добычные и перерабатывающие работы формируют зону опасного экологического состояния растительности. Медь поступает в природные сферы при буровзрывных работах, формировании отвалов при

обогащении алмазов. Радиус воздействия данной деятельности в западном и восточном направлениях составляет 7–10 км, а в южном достигает 15 км. Это объясняется розой ветров в изучаемом районе.

В распределении *хрома* в составе растительности максимально участвуют разведочные, добычные и перерабатывающие работы. Это подтверждается близкими по значению превышениями ПДК. В районе проведения разведочных работ коэффициенты концентрации равны 1,1–1,3; а в местах добычной и перерабатывающей деятельности – 1,5. Повышенное содержание хрома, который по трофическим цепям поступает в растительность, объясняется наличием извлеченных на поверхность глубинных пород. При буровзрывных работах облако пыли распространяется на 20–30 км от алмазодобывающих карьеров. В результате рассмотренного воздействия формируется зона умеренно опасного экологического состояния, которая занимает 23–35 % территории Айхальского ГПК (рис. 4б).

При изучении экологического состояния растительности по содержанию *никеля* в Айхальском ГПК на фоне зоны допустимого выделена зона умеренно опасного уровня загрязнения, совпадающая с местонахождением алмазных трубок и участком геологоразведочных работ на Алакит-Моркокинском объекте (рис. 4в).

В результате разведочных работ никель поступает в растительность при буровых работах. Так повышенные содержания изучаемого элемента фиксируются в районе оз. Ого-Кюэль, руч. Блудливый.

Влияние добычных и перерабатывающих работ на растительность проявлено в виде превышений содержания никеля относительно значений ПДК более чем в 1,5 раза. Данный химический элемент входит в состав пород, которые складываются в отвалах близ карьера. В результате размыва и переноса частиц пород техногенно образованных форм рельефа никель, как и другие глубинные элементы, по трофическим цепям поступает в растительность.

На распределение *цинка* в элементах растительности максимальное воздействие также оказывают разведочные, добычные и перерабатывающие работы. В результате данных видов деятельности в северной и западной частях Айхальского ГПК формируется зона умеренно опасной экологической обстановки и занимает около 15–20 % изучаемой территории (р. 4г).

На распределение *цинка* в элементах растительности максимальное воздействие также оказывают разведочные, добычные и перерабатывающие работы. В результате данных видов деятельности в северной и западной частях Айхальского ГПК формируется зона умеренно опасной экологической обстановки и занимает около 15–20 % изучаемой территории (рис. 7).

Поисковые работы не оказывают существенного воздействия на состояние растительности, что подтверждается допустимым состоянием ГЭС. Данная зона занимает более 70 % изучаемой территории.

Изучая закономерности распределения *свинца* в составе мхов и лишайников, можно сделать вывод,

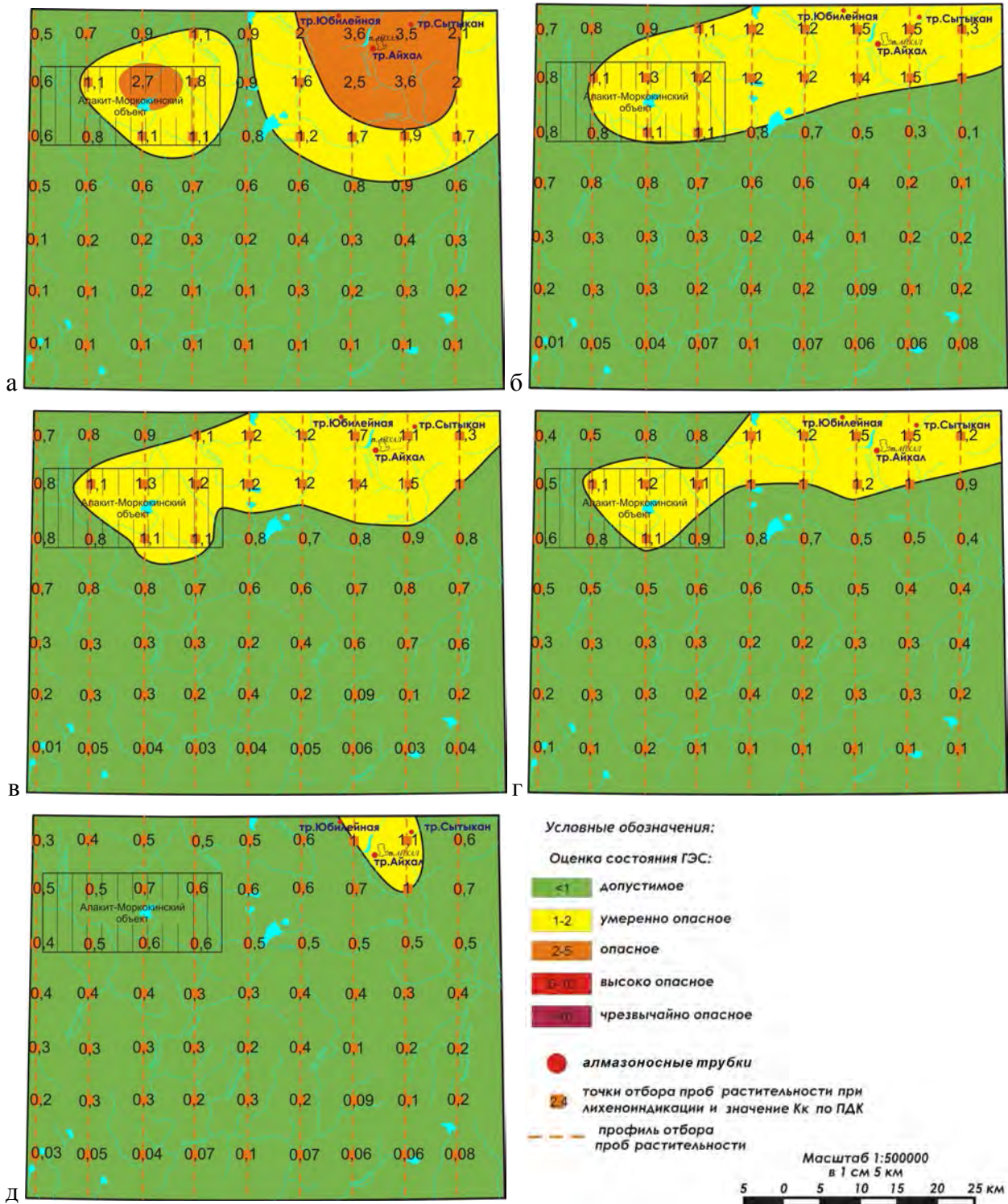


Рис. 4. Карты эколого-геохимической оценки растительности по лишеноиндикации в Айхальском ГПК по содержанию: а – меди; б – хрома; в – никеля; г – цинка; д – свинца.

что ни поисковые, ни разведочные работы не влияют на его повышенные концентрации. Более 90% территории характеризуется как благоприятная. На карте экологического состояния растительности по содержанию свинца четко просматривается приуроченность биогеохимических аномалий к районам добычных и перерабатывающих работ (рис. 4д). В зону умеренно опасного экологического состояния попадают

территории трубок Айхал и Сытыкан, в меньшей степени – трубки Юбилейная. Радиус воздействия буровзрывных работ, являющихся источником поступления свинца в природную среду, составляет 1–7 км в зависимости от направления ветра. Контур загрязнения свинцом вытянут в юго-восточном направлении, что подтверждает северо-западную розу ветров в изучаемом районе.

### Выводы

1. В результате оценки экологического состояния элементов растительности на территории Айхальского горнопромышленного комплекса было выявлено, что повышенные содержания тяжёлых металлов приурочены к местам проведения геологоразведочных, добычных и перерабатывающих работ. Они поступают в природные сферы при буровзрывных работах, выбросах выхлопных газов от тягачей и тяжёлой техники, формировании отвалов при обогащении алмазов. На фоне зон допустимого и умеренно опасного уровня загрязнения выделена зона опасного уровня загрязнения (по меди), совпадающая с местонахождением алмазных трубок (Айхал, Сытыкан и Юбилейная), и ведением геологоразведочных работ на Алакит-Моркокинском объекте.

2. В качестве основных загрязняющих элементов растительности в горнодобывающих районах в местах распространения вечномёрзлых пород были выявлены цинк, никель, свинец, медь и хром. Причем, изучаемые ЗВ характеризуются как природным, так и техногенным происхождением. Повышенные концентрации данных веществ объясняются природным составом горных пород, среди которых кимберлиты, граниты, гнейсы и гранито-гнейсы. Техногенный фактор формирования аномальных содержаний исследуемых загрязнителей заключается в проведении взрывных и

буровзрывных работ на стадиях проведения разведочных и добычных работ. Указанные тяжёлые металлы вместе с пылью поступают на прилегающие территории и формируют эколого-геохимические аномалии. Учитывая тот факт, что растительность, накапливающая указанным способом тяжёлые металлы, в свою очередь, является элементом биоты и имеет прямую связь со здоровьем населения [5], необходимость изучения эколого-геохимического состояния растительности является весьма актуальной в настоящее время особенно в условиях вечной мерзлоты.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бобривич, А. П.* Алмазные месторождения Якутии. ГОНТИ / А. П. Бобривич, М. Н. Бондаренко, М. А. Гневушев [и др.]. — М. — 1959. — 528 с.
2. *Бондарев, Л. Г.* Роль растительности в миграции минеральных веществ в атмосферу / Л. Г. Бондарев. — Изд-во: Природа, 1981. — 86 с.
3. *Ильин, В. Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. — Новосибирск: Изд-во Наука. — 1991. — 151 с.
4. *Косинова, И. И.* Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рациональное недропользование / И. И. Косинова, В. А. Богословский, В. А. Бударина. — Воронеж. — 2004. — 281 с.
5. *Полевой, В. В.* Физиология растений / В. В. Полевой. — М.: Высшая школа. — 1989. — 464 с.

Воронежский государственный университет

Хованская М. А., кандидат географических наук, доцент  
кафедры экологической геологии  
E-MAIL: MASHUNIA86@YANDEX.RU  
Тел.: 8(473) 220-82-89

VORONEZH STATE UNIVERSITY

KHOVANSKAIA M. A., PHD IN GEOGRAPHY, LECTURER OF ECOLOGICAL  
GEOLOGY CHAIR  
E-MAIL: MASHUNIA86@YANDEX.RU  
TEL: 8(473) 220-82-89