

УДК 550.4:574.2:581.5

БИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ ОЛОВОДОБЫЧИ (НА ПРИМЕРЕ ХИНГАНСКОГО ГОКА)**Новороцкая А.Г., Ионкин К.В.***Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, e-mail: novag59@mail.ru, ionkin.1983@mail.ru*

В работе дано обоснование применения биологических методов: биоиндикации и биотестирования с целью установления степени загрязнения окружающей среды в зоне влияния отходов оловорудного производства на примере хвостохранилища Хинганского ГОКа (ЕАО). Исследованы возможности использования многолетних растений в качестве палинологических индикаторов: клевера красного (лугового) (*Trifolium pratense* L.), лютика полевого (*Ranunculus arvensis*), гравилата прямого (*Geum aleppicum*) и рябинника рябинолистного (*Sorbaria sorbifolia*) в биологическом мониторинге. Приведены данные по стерильности пыльцы в зависимости от расстояния от источника загрязнения (хвостохранилища центральной обогатительной фабрики Хинганского ГОКа) по долине р. Левый Хинган. Процент стерильности пыльцы варьирует от 22 до 2. Обнаружен высокий уровень токсичности отходов хвостохранилища Хинганского ГОКа по тест-системе «Ростовой тест».

Ключевые слова: хвостохранилище, отходы, палинологические индикаторы, стерильность и фертильность пыльцы, ростовой тест

BIOLOGICAL MONITORING OF THE ENVIRONMENT STATE IN THE TIN MINING AREA (AS AN EXAMPLE OF THE KHINGANSKY MINING AND CONCENTRATION COMPLEX)**Novorotskaya A.G., Ionkin K.V.***Institute of Water and Ecology Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, e-mail: novag59@mail.ru, ionkin.1983@mail.ru*

This paper gives a rationale for the use of biological methods: bioindication and biotesting to determine the extent of pollution in the zone of tin ore production waste impact by the example of tailing pond of Khingansky Mining and Concentration Complex (Jewish Autonomous Region). The possibilities of use of perennial plants as palynological indicators: red clover (meadow) (*Trifolium pratense* L.), field buttercup (*Ranunculus arvensis*), yellow avens (*Geum aleppicum*) and schizonotus (*Sorbaria sorbifolia*) in biological monitoring are studied. Data on pollen sterility depending on the distance from the source of pollution (tailing pond of concentrating mill of Khingansky MCC) in the valley of Levy Khingan. The percentage of pollen sterility varies from 22 to 2. The extremely high level of toxic waste of tailings pond of Khingansky MCC in the test system «The growth test» was found.

Keywords: tailing pond, waste, palynological indicators, pollen sterility and fertility, the growth test

Концепция комплексного экологического мониторинга окружающей среды (ОС), включающая биологический мониторинг, осуществляемый на станциях фоновоего мониторинга, разработана в конце 1970-х гг. [1] в связи с увеличением техногенной нагрузки на ОС. Большое внимание, уделяемое биологическому мониторингу, определяется тем, что биологический метод, менее трудоемкий по сравнению с физико-химическими методами, учитывает синергизм в действии несколько токсичных компонентов на живые организмы, является экспрессным и интегральным, позволяет объективно оценить и прогнозировать экологическую ситуацию в зоне антропогенного воздействия по характеру ответных реакций живых организмов. Комплексный подход в проведении биомониторинга при систематическом наблюдении позволяет судить о перспективах изменения структуры сообществ, продуктивности популяций

и устойчивости экосистем по отношению к изменяющимся факторам: природным или антропогенным [2]. В настоящее время антропогенный фактор является главным в разрушении фитоценозов. Большой интерес представляет поиск простых и информативных признаков, маркирующих устойчивость и состояние растительных организмов. В качестве объектов для биомониторинга могут быть использованы пыльцевые зерна как древесных, так и травянистых растений [2]. Установлено, что в условиях экологического неблагополучия генеративные органы растений, особенно органы мужской репродукции, испытывают наиболее сильное влияние [3], что проявляется в их аномальном развитии и низком качестве формируемой ими пыльцы [4], т.е. изменяется половая структура популяций, наблюдается стерильность половых клеток [5]. При проведении палиноиндикационных исследований оценивается доля нор-

мально развитой и дефектной пыльцы, при необходимости могут определяться показатели метаболизма пыльцевых зерен. Растения рассматриваются исследователями как наиболее чувствительные и надежные индикаторы загрязненности атмосферы и гидросферы. Результаты палинологических исследований традиционно используются при палеогеографических и палеоэкологических реконструкциях, сравнительно недавно – для комплексной оценки качества ОС современной и прошлых эпох, а также для прогнозирования ряда природных явлений и вероятностных изменений ОС [3], при проведении экологического и горно-экологического мониторинга [6, 7].

Освоение твердых полезных ископаемых в Дальневосточном регионе способствует интенсивному загрязнению объектов ОС. Наибольшую опасность представляют горнопромышленные отходы, складываемые в хвостохранилищах. Происходит деградация экосистем и их разрушение. Однако проблема реабилитации площадей, вовлеченных в процесс горного производства, до сих пор не решена [8, 9].

Горное предприятие ОАО «Хинганский ГОК» осваивало Хинганское и Кардубское оловорудные месторождения, однако основа минерально-сырьевой базы комбината – Хинганское месторождение, которое разрабатывалось с 1946 г. открытым, а с 1963 г. – подземным способом. Извлечение олова из руды на предприятии было самым высоким в отрасли – около 82%. В 2005 г. предприятие остановлено. В результате длительной эксплуатации оловорудных месторождений образовалось около 8,5 млн т токсичных отходов горных пород и хвостов рудообогащения, сосредоточенных в отвалах и хвостохранилищах, что ведет к загрязнению ОС, снижению качества среды обитания. Проведенными исследованиями в зоне влияния хвостохранилища ЦОФ (центральной обогатительной фабрики) Хинганского ГОКа, расположенного в районе пос. Хинганск (ЕАО, Облученский район), установлено, что этот объект требует пристального внимания, как чрезвычайно опасный, являющийся основным источником загрязнения ОС. Техническое состояние горнотехнического сооружения, не зарегистрированного в Российском реестре опасных производственных объектов, аварийное. Превышение ПДК токсичных элементов отмечено в почвогрунтах, в поверхностных водах и в растительности [10]. Происходит ин-

тенсивное пылевое загрязнение среды обитания с осушенной поверхности хвостохранилищ на расстояние не менее четырех километров. В связи с этим возникает необходимость в обеспечении экологической безопасности горного объекта. В работах предложен метод комплексной оценки воздействия процессов переработки оловорудного сырья на ОС [10], дано обоснование применения метода биоиндикации в системе горно-экологического мониторинга [11–13].

Цель исследования: изучить возможность использования растений-палиноиндикаторов в биологическом контроле территории оловорудного освоения (Хинганского ГОКа).

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны следующие виды многолетних растений: клевер красный (луговой) (*Trifolium pratense* L.), лютик полевой (*Ranunculus arvensis*), гравилат прямой (*Geum aleppicum*) и рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia*), у которых изучали спонтанную и индуцированную стерильность пыльцевых зерен по методу [14]. Исследования проводились в конце июня – начале июля 2012–2013 гг. Отбирались соцветия растений в сухую погоду по доминирующим видам, произрастающим на территориях, различающихся по степени антропогенной нагрузки в пределах воздействия хвостохранилища ЦОФ Хинганского ГОКа в шести точках (станциях). Пять интегральных проб отобрано по долине р. Левый Хинган, ниже по течению (станции № 2–6) в соответствии с преимущественно юго-западным (на 70%) направлением ветра по долине р. Левый Хинган, обусловленным рельефом, на удалении от источника загрязнения (хвостохранилища ЦОФ) от 0,5 км до 6 км, одна проба – непосредственно у хвостохранилища, на его откосе (станция № 1). Контролем служила точка отбора, расположенная северо-восточнее от пос. Хинганск, в 2 км от хвостохранилища ЦОФ ОАО «Хинганолово» (рис. 1, таблица). На хвостохранилище растительность отсутствовала.

В работе использованы следующие биологические методы «Стерильность пыльцы» (биоиндикация) и «Ростовой тест» (биотестирование).

Биоиндикационный метод «Стерильность пыльцы». Собранный в сухую погоду в зоне влияния горных работ с указанных зон репродуктивный материал (цветы многолетних растений, отобранные у непо-

врежденных здоровых экземпляров, произрастающих в центре экотопа) фиксировали в уксуснокислом спирте (3:1), а затем, после промывки в 70%-ном спирте, переносили в 80%-ный этиловый спирт, где хранили до цитологического анализа.

Фертильность пыльцевых зёрен на временных давленных препаратах определяли йодным методом, в основе которого лежит определение крахмала при помощи йодной реакции [14]. Зрелые пыльники вскрывались двумя иглами на предметном стекле, смачивались йодным раствором и, после удаления лишних тканей, накрывались покровным стеклом. При необходимости добавлялось еще 2–3 капли йодного раствора. Фертильные и стерильные зерна отличаются по содержанию крахмала. Обычно фертильное пыльцевое зерно полностью заполнено крахмалом, а стерильное не имеет его совсем или содержит следы. Через 2–3 минуты приготовленный препарат исследовался под микроскопом «Биолам» Ломо Р-14 с подсветкой (увеличение 7х20, 7х40 или 7х90). Под микроско-

пом фертильные пыльцевые зерна имели темно-фиолетовый (почти черный) цвет, стерильные зерна и оболочки пыльцевых зерен оставались неокрашенными. В каждом приготовленном препарате просматривалось более 500 зерен пыльцы. Производился подсчет стерильных и фертильных пыльцевых зерен. Количество стерильных зерен определялось в процентах: $M = g \cdot 100 / N$, где M – количество стерильных клеток на 100 клеток всего, g – количество стерильных зерен, N – количество всех зерен. Достоверность подсчета определялась по формуле $m = \sqrt{g(100 - g) / N}$, результаты выражались через $M \pm m$, где $m < M$. Рассчитано отношение фертильных пыльцевых зёрен к стерильным (Φ/C), характеризующее чувствительность репродуктивных органов растений к техногенному загрязнению ОС. Статистическая обработка информации проведена с помощью пакета программы EXCEL-2010. В качестве критерия оценки достоверности наблюдаемых изменений использовали t-критерий Стьюдента [15].

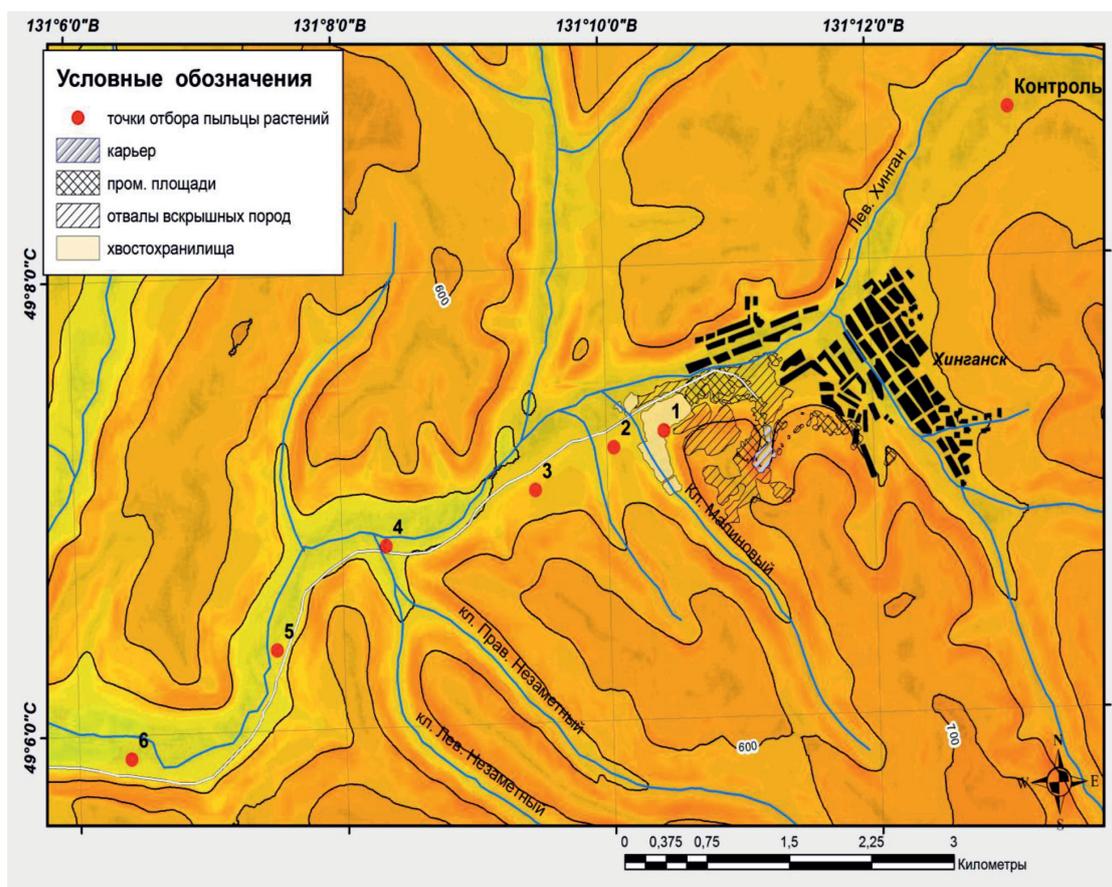


Рис. 1. Схема отбора проб в зоне влияния хвостохранилищ Хинганского ГОКа, 2012, 2013

Метод биотестирования «Ростовой тест». Проведено биотестирование субстрата «хвостов» из хвостохранилища ЦОФ, на семенах горчицы, в качестве контрольного субстрата использована дистиллированная вода. Эксперимент проводился в трех повторностях с равным количеством семян горчицы (10 штук) в закрытых чашках Петри при комнатной температуре на увлажненном субстрате. Количество субстрата во всех опытах составило 5 г, объем дистиллированной воды – 5 см³.

Результаты исследования и их обсуждение

«Стерильность пыльцы». У изученных растений, произрастающих как в экологически относительно благоприятной (контрольной) зоне, так и зонах по мере удаления от источника загрязнения – хвостохранилища ЦОФ, были выявлены существенные различия показателей спонтанной и индуцированной стерильности мужского гаметофита.

Данные индуцированной техногенным загрязнением стерильности пыльцевых зерен изученных культур, произрастающих в зонах по мере удаления от источника загрязнения, а также данные спонтанного уровня стерильности пыльцевых зёрен

Ranunculus arvensis, произрастающего в контрольной зоне, представлены в таблице. Рассчитаны величины отношения между показателями стерильности (С) и фертильности (Ф) пыльцы, средние значения стерильности пыльцы *Ranunculus arvensis* за период исследований (2012–2013 гг.) по мере удаления от источника загрязнения (рис. 2). Выявлен довольно низкий спонтанный уровень стерильности пыльцевых зёрен *Ranunculus arvensis* контрольной зоны – 0,3–0,4%. Было установлено, что стерильность пыльцы исследованных растений зависит от степени антропогенного воздействия на исследуемую территорию. По мере удаления от источника загрязнения процент стерильности убывает, возрастает процент фертильных зерен. Стерильность пыльцевых зерен *Ranunculus arvensis* уменьшается – в 4,5 и 4,1 раза на удалении в 0,5–6 км от хвостохранилища, *Trifolium pratense* L. – в 2,2 и 1,7 раз по мере удаления от хвостохранилища на 2,5 км, в 2012 г. и 2013 г. соответственно. Показатели стерильности мужского гаметофита резко возрастали у изученных многолетних растений (*Trifolium pratense* L., *Ranunculus arvensis*), произрастающих в непосредственной близости от источника загрязнения, максимально – более 20% (таблица).

Показатели стерильности пыльцы многолетних растений, произрастающих в контрольной зоне и в зоне влияния Хинганского ГОКа, 26.06.07 г. 2012/2013 гг., %

Место отбора пробы	Номер станции	Вид растительности	Общее количество	Стерильность (С, %)	Ф/С
Откос хвостохранилища	1	Клевер	515 545	$22,0 \pm 1,6$ $16,0 \pm 1,2$	$\frac{3,5}{5,2}$
Долина р. Лев. Хинган					
0,5 км от хвостохранилища	2	Лютик	519 533	$19,0 \pm 1,4$ $15,5 \pm 1,4$	$\frac{4,2}{5,4}$
1 км от хвостохранилища	3	Лютик	522 518	$17,8 \pm 1,2$ $13,2 \pm 1,3$	$\frac{4,6}{6,6}$
2,5 км от хвостохранилища	4	Лютик	528 541	$12,5 \pm 2,1$ $11,8 \pm 1,2$	$\frac{7,0}{7,5}$
Там же	4	Клевер красный	560 585	$9,8 \pm 2,1$ $9,5 \pm 1,2$	$\frac{9,2}{9,5}$
4 км от хвостохранилища	5	Лютик	528 542	$8,9 \pm 2,2$ $8,1 \pm 2,1$	$\frac{10,2}{11,3}$
6 км от хвостохранилища	6	Гравилат	538 552	$2,5 \pm 1,5$ $1,7 \pm 1,2$	$\frac{39,0}{57,8}$
Там же	6	Рябинолистник	519 528	$2,5 \pm 1,5$ $2,0 \pm 1,2$	$\frac{35,1}{49,0}$
Там же	6	Лютик	511 532	$4,2 \pm 1,2$ $3,8 \pm 1,2$	$\frac{22,8}{25,3}$
Контроль, северо-восточнее от пос. Хинганск, в 2 км от хвостохранилища		Лютик	508 520	$0,3 \pm 1,2$ $0,4 \pm 1,2$	

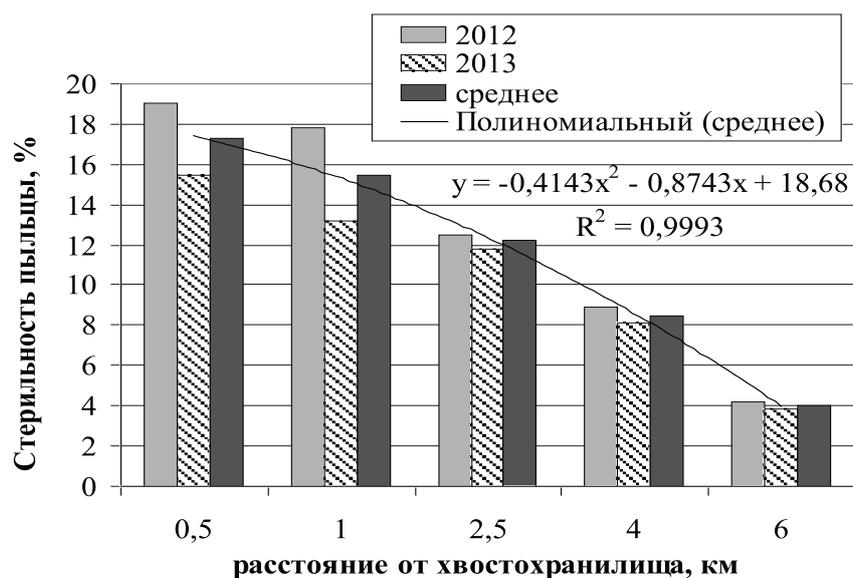


Рис. 2. Средние значения стерильности пыльцы лютика полевого (*Ranunculus arvensis*) по мере удаления от источника загрязнения

Величины стерильности пыльцы *Ranunculus arvensis* в зависимости от расстояния от хвостохранилища ЦОФ Хинганского ГОКа описываются следующими уравнениями: $y = -0,3786x^2 - 1,5786x + 21,38$ (2012 г.) и $y = -0,45x^2 - 0,15x + 15,88$ (2013 г.) (рис. 2). Там же приведены рассчитанные средние величины стерильности пыльцы *Ranunculus arvensis* и уравнение для периода наблюдений (2012–2013 гг.). Используемый нами метод «стерильности пыльцы» свидетельствует о том, что токсиканты накапливаются в органах растений в значительных количествах.

Тест-система «Ростовой тест». Обнаружен высокий уровень токсичности отходов хвостохранилища, т.е. субстрат непригоден для произрастания растительности, поэтому на хвостохранилище необходимо создавать модель почвенного профиля, отвечающую биоклиматическим условиям региона.

Выводы

Антропогенное загрязнение ОС негативно влияет на репродуктивную сферу растений, снижая фертильность пыльцы. Наиболее чувствительны к антропогенной нагрузке органы мужской репродукции популяции лютика полевого (*Ranunculus arvensis*) и клевера красного (*Trifolium pratense* L.). Гравилат прямой (*Geum aleppicum*) и рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia*) также могут быть ис-

пользованы в качестве палиноиндикаторов территории горно-рудного освоения.

Список литературы

1. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 375 с.
2. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева и др. / [под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Егоровой]. – М.: Академия, 2007. – 288 с.
3. Дзюба О.Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды / О.Ф. Дзюба. – СПб.: Недра, 2006. – 198 с.
4. Ибрагимова Э.Э. Палиноморфологическая и палинотоксинологическая оценка аэротехногенного загрязнения в урбозкосистемах // Самарский научный вестник. – 2015. – № 2(11). – С. 83–86.
5. Кончина Т.А. Возможности использования пыльцы в биоиндикации водоемов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 6–1. – С. 67–70.
6. Палинологические исследования в практике инженерно-экологических изысканий / О.Ф. Дзюба [др.] // Нефтегазовая геология, Теория и практика. – СПб.: Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт. – 2013. – Т. 8, № 2. URL: http://www.ngtg.ru/rub/7/24_2013.pdf (дата обращения: 02.08.2017).
7. Крупская Л.Т. Проблемы организации горно-экологического мониторинга экосистем зоны влияния хвостохранилищ с токсичными отходами переработки оловорудного сырья / Л.Т. Крупская, М.Б. Бубнова, А.Г. Новороцкая // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 1. – С. 192–199.
8. Основные направления решения экологических проблем минерально-сырьевого комплекса в Дальневосточном регионе / К.Н. Трубецкой [и др.] // Геоэкология. – 2009. – № 6. – С. 483–489.
9. Ханчук А.И. Экологические проблемы освоения оловорудного сырья в Приморье и Приамурье / А.И. Ханчук, Л.Т. Крупская, В.П. Зверева // География и природные ресурсы. – 2012. – № 1. – С. 62–67.

10. Новороцкая А.Г., Ионкин К.В. Метод комплексной оценки воздействия процессов переработки оловорудного сырья на окружающую среду (на примере Хинганского ГОКа) // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды IV Всерос. симп. и Всерос. чтений (5–8 нояб., 2012 г.). – Чита: Поиск, 2012. – С. 83–87.

11. Крупская Л.Т. Биоиндикационные методы как элемент горно-экологического мониторинга зон влияния горнодобывающих объектов юга Дальнего Востока / Л.Т. Крупская, А.М. Дербенцева, А.В. Леоненко // Экологические системы и приборы. – 2005. – № 11. – С. 6–9.

12. Новороцкая А.Г., Крупская Л.Т. Организация горно-экологического мониторинга в зоне хвостохранилища в бассейне р. Силинки // III Дружининские чтения: Комплексные исследования природной среды в бассейне р. Амур: материалы межрегион. науч. конф. (Хабаровск, 6–9 окт., 2009 г.). – Хабаровск: ДВО РАН, 2009. – Кн. 1. – С. 39–42.

13. Крупская Л.Т., Зверева В.П. Оценка влияния отходов переработки оловорудного сырья на объекты окружающей среды (на примере Хрустальненского ГОКа) // Сибирский экологический журнал. – 2011. – № 6. – С. 797–803.

14. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений: учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений / З.П. Паушева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.

15. Ивантер Э.В. Элементарная биометрия: учеб. пособие / Э.В. Ивантер, А.В. Коросов. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. – 104 с.

References

1. Izrael Ju.A. Jekologija i kontrol sostojanija prirodnoj sredy / Ju.A. Izrael. L.: Gidrometeoizdat, 1979. 375 p.

2. Biologicheskij kontrol okruzhajushhej sredy: bioindikacija i biotestirovanie: ucheb. posobie dlja studentov vyssh. ucheb. zavedenij / O.P. Melehova, E.I. Egorova, T.I. Evseeva i dr. / [pod red. O.P. Melehovoj, E.I. Egorovoj]. M.: Akademiya, 2007. 288 p.

3. Dzjuba O.F. Palinoidikacija kachestva okruzhajushhej sredy / O.F. Dzjuba. SPb.: Nedra, 2006. 198 p.

4. Ibragimova Je.Je. Palinomorfologicheskaja i palinotoksikologicheskaja ocenka ajerotehnogonnogo zagryaznenija v urbojekosistemah // Samarskij nauchnyj vestnik. 2015. no. 2(11). pp. 83–86.

5. Konchina T.A. Vozmozhnosti ispolzovanija pylcy v bioindikacii vodoemov // Aktualnye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2014. no. 6–1. pp. 67–70.

6. Palinologicheskie issledovanija v praktike inzhenerno-jekologicheskij izyskanij / O.F. Dzjuba [dr.] // Neftegazovaja geologija, Teorija i praktika. SPb.: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij geologorazvedochnyj institut. 2013. T. 8, no. 2. URL: http://www.ngtg.ru/rub/7/24_2013.pdf (data obrashhenija: 02.08.2017).

7. Krupskaja L.T. Problemy organizacii gorno-jekologicheskogo monitoringa jekosistem zony vlijanija hvostohranilishh s toksichnymi othodami pererabotki olovorudnogo syrja / L.T. Krupskaja, M.B. Bubnova, A.G. Novorockaja // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten. 2012. no. 1. pp. 192–199.

8. Osnovnye napravlenija reshenija jekologicheskij problem mineralno-syrevogo kompleksa v Dalnevostochnom regione / K.N. Trubeckoj [i dr.] // Geojekologija. 2009. no. 6. pp. 483–489.

9. Hanchuk A.I. Jekologicheskije problemy osvoenija olovorudnogo syrja v Primore i Priamure / A.I. Hanchuk, L.T. Krupskaja, V.P. Zvereva // Geografija i prirodnye resursy. 2012. no. 1. pp. 62–67.

10. Novorockaja A.G., Ionkin K.V. Metod kompleksnoj ocenki vozdejstvija processov pererabotki olovorudnogo syrja na okruzhajushhiju sredy (na primere Hinganskogo GOKa) // Mineralogija i geohimija landshafta goronrudnyh territorij. Sovremennoe mineraloobrazovanie: Trudy IV Vseros. simp. i Vseros. chtenij (5–8 nojab., 2012 g.). Chita: Poisk, 2012. pp. 83–87.

11. Krupskaja L.T. Bioindikacionnye metody kak jelement gorno-jekologicheskogo monitoringa zon vlijanija gornodobyvajushhij obektov juga Dalnego Vostoka / L.T. Krupskaja, A.M. Derbenceva, A.V. Leonenko // Jekologicheskije sistemy i pribory. 2005. no. 11. pp. 6–9.

12. Novorockaja A.G., Krupskaja L.T. Organizacija gorno-jekologicheskogo monitoringa v zone hvostohranilishha v bassejne r. Silinki // III Druzhininskie chtenija: Kompleksnye issledovanija prirodnoj sredy v bassejne r. Amur: materialy mezhhregion. nauch. konf. (Habarovsk, 6–9 okt., 2009 g.). Habarovsk: DVO RAN, 2009. Kn. 1. pp. 39–42.

13. Krupskaja L.T., Zvereva V.P. Ocenka vlijanija othodov pererabotki olovorudnogo syrja na obekty okruzhajushhej sredy (na primere Hrustal'nenskogo GOKa) // Sibirskij jekologicheskij zhurnal. 2011. no. 6. pp. 797–803.

14. Pausheva Z.P. Praktikum po citologii rastenij: uchebniki i ucheb. posobija dlja studentov vyssh. ucheb. zavedenij / Z.P. Pausheva. 4-e izd., pererab. i dop. M.: Agropromizdat, 1988. 271 p.

15. Ivanter Je.V. Jelementarnaja biometrija: ucheb. posobie / Je.V. Ivanter, A.V. Korosov. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2010. 104 p.