

УДК 553.98:550.814(571.56-14)

## БИОИНДИКАЦИЯ КАЧЕСТВА СРЕДЫ НА СТАДИИ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ)

<sup>1</sup>Шадрина Е.Г., <sup>2</sup>Пудова Т.М., <sup>1</sup>Солдатова В.Ю.<sup>1</sup>Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Аммосова,  
Якутск, e-mail: e-shadrina@yandex.ru;<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера Северо-Восточного  
Федерального университета им. М.К. Аммосова, Якутск,  
e-mail: tuyara22@mail.ru, solvik75@mail.ru

Обследованы природные биотопы и 10 площадок разведочных скважин на территории Чаюдинского нефтегазового месторождения. Для оценки состояния почв проведено биотестирование с использованием лука-батун (*Allium fistulosum* L.). Оценивали всхожесть семян, длину проростков и частоту нарушений митоза в клетках корневой меристемы. Качество среды в наземных экосистемах оценивали по величине показателя нарушения стабильности развития организма. В качестве критерия рассматривали показатель флуктуирующей асимметрии (ФА) листа березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.). Показано, что на участках, загрязненных нефтепродуктами или подверженных засолению, наблюдается нарушение всхожести семян, угнетение роста проростков и повышение частоты патологий митоза. На стадии появления древесной растительности отмечено повышение показателя ФА. Это свидетельствует об ухудшении качества среды даже на начальных этапах освоения месторождений в условиях Севера.

**Ключевые слова:** биоиндикация, лук-батун, береза плосколистная, мутагенная активность почв, флуктуирующая асимметрия, качество среды

## BIOINDICATION OF ENVIRONMENT QUALITY ON THE HYDROCARBON DEPOSIT EXPLORATION STAGE (BY THE EXAMPLE OF THE SOUTH-WESTERN YAKUTIA)

<sup>1</sup>Shadrina E.G., <sup>2</sup>Pudova T.M., <sup>1</sup>Soldatova V.Y.<sup>1</sup>Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: e-shadrina@yandex.ru;<sup>2</sup>Research Institute of Applied Ecology of the North, Ammosov North-Eastern Federal University,  
Yakutsk, e-mail: tuyara22@mail.ru, solvik75@mail.ru

Unimpaired habitats and 10 exploratory well sites on the territory of the Chayanda oil and gas field have been examined. Japanese leek (*Allium fistulosum* L.) was used to assess the condition of soils. Germinating ability, seedling length, and occurrence of mitotic abnormalities in the cells of the root apical meristems were estimated. Quality of environment in land ecosystems was assessed by using values of developmental stability abnormalities. The value of fluctuating asymmetry (FA) of leaves of the Japanese white birch (*Betula platyphylla* Sukacz.) was used as a measure of developmental stability. It was shown that in habitats contaminated by petrochemicals or subject to soil salinization decreased germinating capacity, seedling growth depression, and an increase in occurrence of mitotic abnormalities can be observed. On the stage of tree arrival, an increase in FA values was noted. This indicates that in conditions of the North even on the initial stages of exploitation of mineral fields environment quality begins to deteriorate.

**Keywords:** bioindication, Japaneseleek, Japanesewhitebirch, mutagenic activity of soils, fluctuating asymmetry, environment quality

Эксплуатация месторождений природного сырья – один из наиболее значимых техногенных факторов, воздействующих на экосистемы Севера Российской Федерации. Юго-Западная Якутия является одним из активно развивающихся регионов Республики Саха (Якутия), причем развитие региона осуществляется в основном за счет предприятий нефтегазодобывающего комплекса. В процессе освоения нефтяных и газовых месторождений наиболее активное воздействие на природную среду осуществляется в пределах территории промышленных площадок, трасс линейных сооружений (в первую очередь магистральных трубопроводов), в ближайших населенных пунктах (городах, поселках). При этом сложность

оценки степени антропогенной трансформации связана, прежде всего, с комплексным влиянием на обширную территорию целого ряда факторов. В подобных случаях наиболее удобными способами оценки интенсивности антропогенного воздействия являются биоиндикация и биотестирование. Для оценки состояния наземных экосистем мы использовали морфогенетический подход в биоиндикации и биотестирование состояния почв.

Морфогенетический подход основан на оценке внутри индивидуальной изменчивости морфологических структур, в частности степень выраженности флуктуирующей асимметрии (ФА) – это мелкие ненаправленные отклонения от идеального симметрич-

ного состояния, не имеющие самостоятельного адаптивного значения и возникающие как результат случайных ошибок развития в ходе развития организма [5, 13, 14]. Известно, что уровень флуктуирующей асимметрии организмов зависит от степени загрязнения среды: нарушения стабильности развития отмечены у растений, рыб, амфибий, мелких млекопитающих на территории химических предприятий, на урбанизированных территориях, в зоне влияния предприятий добывающей промышленности [6, 9, 11, 12].

Биотестирование выполняет функцию тактического контроля происходящего загрязнения, нацеленного на получение быстрого сигнала о токсичности компонентов окружающей среды. В настоящее время установлено, что мутагенной активностью обладает большинство химических веществ и соединений, поступающих в окружающую среду. В литературе отмечается негативное влияние нефтезагрязнений на рост и развитие растений [7, 10], а также повышение показателя мутагенной активности [4].

#### Материал и методы исследований

В ходе исследований 2009–2011 гг. обследованы площадки 10 разведочных скважин, расположенных в бассейне р. Нюя (Чаяндинское нефтегазовое месторождение). Разведочные работы проводились в основном в 70–80-х годах прошлого века; в настоящее время проведены расконсервация части скважин и их пробная эксплуатация. Антропогенное воздействие на данный момент проявляется в следующем: вырубка древесной растительности на площадках скважин около 100×100 м, а также создание геодезических профилей; механическое нарушение почвенного покрова с частичным замещением насыпными грунтами, загрязнение буровыми растворами, приводящее к засолению грунтов, в ряде случаев – загрязнение нефтепродуктами.

Для оценки качества среды по показателям нарушения стабильности развития древесных растений была выбрана береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.). Сбор материала проводился согласно методике оценки состояния природных популяций [8]. В каждой точке собирали по 100 листьев (по 10 штук с 10 деревьев) на одинаковой высоте с растений генеративного возраста, растущих в условиях одинаковой освещенности. Показатель ФА у растений определялся по асимметрии строения и жилкования листовой пластинки.

При биотестировании почв в качестве тест-объекта использовали лук-батун (*Allium fistulosum* L.), в качестве тест-функций – всхожесть семян и изменение цитогенетических показателей клеток корневой меристемы. Выбор тест-объекта обусловлен стабильностью получения качественных цитологических препаратов, крупными хромосомами, достаточно высокой чувствительностью вида к действию мутагенов. *Фитотоксичность почв* определяли методом почвенных пластинок [1], токсичными почвами считали почвы, вызывающие угнетение прорастания семян на 20–30% и более. *Мутагенную активность* определяли по методике, предложенной И.К. Блиновским с соавторами [2], структурные изменения

хромосом учитывали анателофазным методом на временных давленных препаратах, окрашенных реактивом Шиффа. Процент патологий митоза (ПМ) – рассчитывали от общего числа анателофазных клеток (не менее 400). В качестве контрольных рассматривали проростки, пророщенные на почвенной пробе из природного биотопа того же региона и на дистиллированной воде.

Всего за период исследований промерено более 1200 листьев, отобранных на площадках разведочных скважин и в природных биотопах, проанализировано более 40 образцов почвы. При обработке материала использовали общепринятые статистические параметры [3].

#### Результаты исследования и их обсуждение

##### *Биотестирование почв*

В 2009 г. было обследовано исходное состояние площадок скважин и примыкающих природных биотопов, что можно рассматривать как исходное состояние на стадии самозарастания спустя 30–40 лет после проведения разведочных работ. Всхожесть семян тест-объекта в большинстве проб варьировалась в пределах от 77 до 95%, тогда как в водном контроле – 84% (рис. 1 а). Угнетение прорастания семян отмечено только в одной пробе на расстоянии 10 м от устья скважины. Можно отметить, что в целом почвенная среда исследуемой территории благоприятна для прорастания растительности.

В последующие годы возобновление работ обусловило усиление техногенного воздействия на участки, примыкающие к скважинам: здесь производятся буровые работы с целью уточнения запасов углеводородного сырья. На части таких площадок всхожесть семян нулевая, что свидетельствует об интенсивном загрязнении грунтов (рис. 1 б), но даже при наличии проросших семян наблюдается угнетение роста, вследствие чего повышен процент проростков с длиной корешка менее 1,5 см. Различия с контрольной выборкой при этом достигают статистически значимого уровня. Неравномерность загрязнения площадок отражается в различиях в показателях всхожести семян на расстоянии 5–10 метров от устья скважин (рис. 2–3). В целом приведенные данные свидетельствуют о том, что загрязнение нефтепродуктами негативно влияет на рост и развитие тест-объекта.

Сравнительный анализ показателя всхожести семян по годам выявил значительное ухудшение состояния среды на территории площадок скважин № 1–2, где производились работы по доразведке, и было отмечено загрязнение почвогрунтов нефтепродуктами, тогда как на площадке скважины № 3 показатель всхожести остался фактически на прежнем уровне (рис. 3).

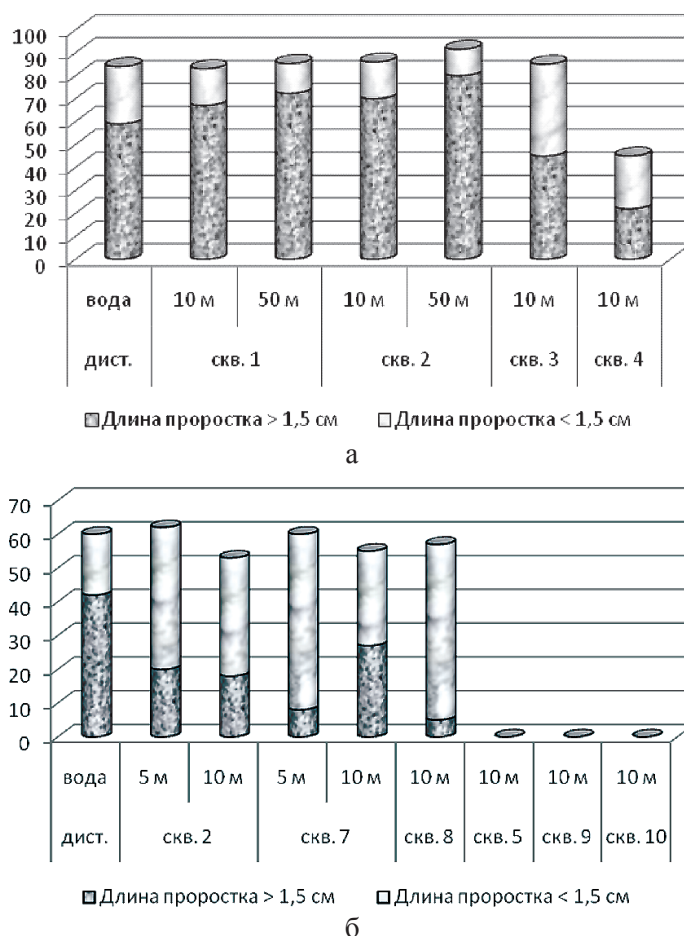


Рис. 1. Сравнение показателей всхожести семян тест-объекта на почвах с площадок законсервированных скважин (а) и с площадок, на которых ведутся работы по доразведке (б)

Анализ мутагенной активности почв показал, что спектр патологических митозов представлен основными типами цитогенетических нарушений – хромосомные и хроматидные мосты, одиночные и парные фрагменты, отставания, забегания хромосом. Среди перечисленных нарушений преобладали одиночные и парные мосты, что свидетельствует о наличии нарушений по типу «разрывы – воссоединения» и образовании дицентрических хромосом. В контрольной пробе с дистиллированной водой частота патологий митоза составила 5,16% (табл. 1). Биотестирование почв и грунтов с площадок разведочных скважин показало статистически значимое повышение уровня аберраций хромосом во всех проанализированных пробах; показатель варьировался в пределах 7,01–12,98% (см. табл. 1). Наиболее высокая частота нарушений митоза характерна для проб, отобранных с площадок, на которых наблюдалось загрязнение нефтепродуктами.

*Оценка качества среды по показателям нарушения стабильности развития*

Наши предыдущие исследования на территории Якутии показали, что в при-

родных ненарушенных ценозах с хорошей освещенностью показатель ФА березы плосколистной составляет около 0,040–0,044 [11]. В пределах исследуемой территории показатель ФА варьировал в пределах 0,043–0,050, причем в большинстве точек он колебался в пределах 0,043–0,045, что соответствует состоянию «минимальные отклонения от нормы» и свидетельствует о благополучном состоянии среды (табл. 2). Величина показателя ФА 0,050, характерная для участков законсервированных скважин № 3 и 9, по-видимому, связана с предыдущей антропогенной деятельностью, в частности, с повышенной засоленностью почвы, что позволяет оценить качество среды на данных участках как неблагоприятное. Необходимо отметить, что применение данного метода возможно только на поздних стадиях возобновления древесной растительности, т.к. по методике листья отбирают с растений генеративного возраста. На всех обследованных площадках деревья произрастали на расстоянии 50–100 м от устья скважины.

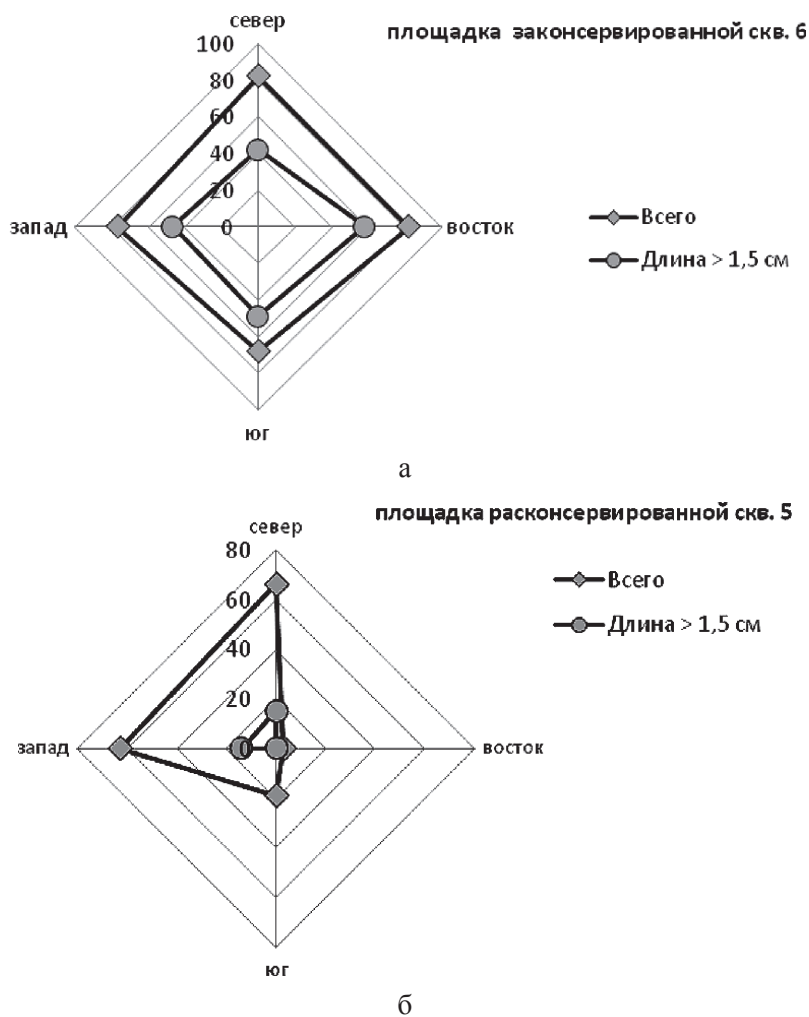


Рис. 2. Показатели всхожести семян тест-объекта на площадках скважин (на расстоянии 5 м от устья)

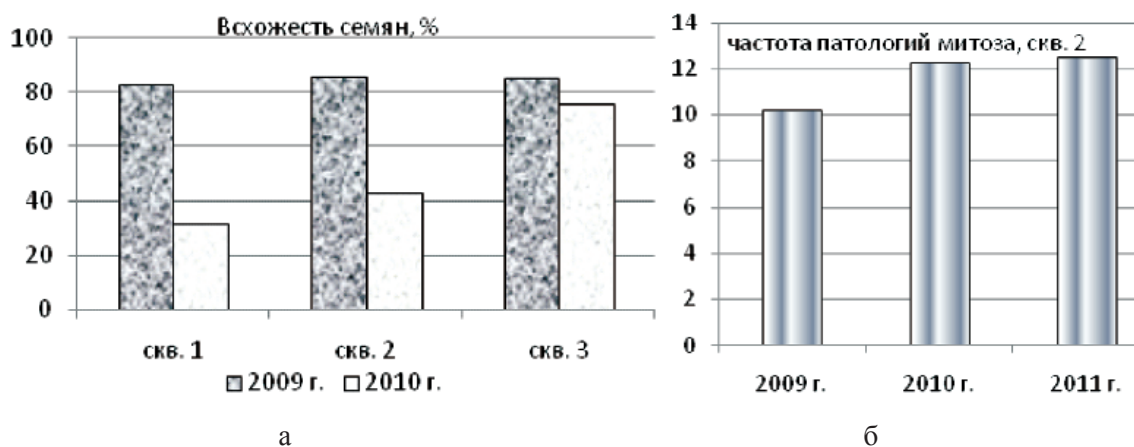


Рис. 3. Изменение показателей всхожести семян и мутагенной активности тест-объекта по годам

Таблица 1

Частота нарушений митоза тест-объекта *Allium fistulosum* по точкам сбора материала

№ п/п	Разрез, скважина	Расстояние, направление	Всего анафаз	Анафазы с нарушениями	
				всего	M% ± m
Контроль, дистиллированная вода			442	24	5,16 ± 0,43
2010 г.					
1	Р-2-Ч-09	Природные биотопы-	445	49	9,60 ± 0,56
2	Р-3-Ч-09		468	35	7,82 ± 0,34
3	СКВ. 2	10 м	462	53	12,29 ± 0,47
7	СКВ. 3	5 м, север	527	62	10,96 ± 0,28
8		5 м, восток	520	39	7,79 ± 0,31
4	СКВ. 5	5 м	473	46	9,14 ± 0,33
5		10 м, север	451	37	8,21 ± 0,82
6		10 м, юг	458	32	8,29 ± 0,76
9	СКВ. 6	5 м	507	36	7,34 ± 0,39
10		5 м	464	28	6,24 ± 0,74
2011 г.					
1	СКВ. 2	5 м	445	51	11,07 ± 0,63
2		10 м	434	33	12,52 ± 1,08
4	СКВ. 5	5 м	456	51	12,98 ± 0,88
5		10 м	419	30	8,92 ± 0,91
3	СКВ. 8	10 м	502	36	7,01 ± 0,35

Таблица 2

Показатель флуктуирующей асимметрии древесных растений на территории Чаяндинского лицензионного участка

Точка	n	Показатель ФА		
		M	m	d
Смешанный березово-лиственничный лес	100	0,043	0,0019	0,000351
Смешанный лес в районе скважины 1	100	0,044	0,0021	0,000462
Смешанный лес в районе скважины 2	100	0,044	0,0019	0,000343
Площадка скважины 2	63	0,044	0,0029	0,00053
Площадка скважины 3	92	0,050	0,0022	0,000434
Площадка скважины 4	105	0,042	0,0021	0,00047
Площадка скважины 5	200	0,045	0,0020	0,000391
Площадка скважины 6	83	0,040	0,0023	0,00044
Площадка скважины 8	71	0,045	0,0028	0,00056
Площадка скважины 9	100	0,050	0,0022	0,00048

В целом сопоставление двух биоиндикационных методик показало относительно благополучное состояние среды в природных биотопах Юго-Западной Якутии. На начальной стадии освоения месторождений углеводородного сырья антропогенные нарушения сводятся в основном к механическому нарушению почвенного и растительного покрова, в этом случае биоиндикационные методы показывают относительно благополучное состояние среды. При загрязнении буровыми растворами и нефтепродуктами отмечено ухудшение качества среды, как по результатам биоте-

стирования почв, так и по показателю нарушения стабильности развития.

При биотестировании почв загрязненных участков отмечено нарушение всхожести семян, угнетение роста проростков и повышение частоты патологий митоза лука-батуна по сравнению с контрольными, что можно расценить как повышение фитотоксичности и мутагенной активности почв, наиболее ярко выраженное на расстоянии 5–10 м от источника загрязнения. Оценка качества среды по показателям нарушения стабильности развития проведена на стадии возобновления дре-



весной растительности; в это время на большинстве обследованных площадок состояние среды можно охарактеризовать как удовлетворительное, за исключением локальных участков. Таким образом, при проведении геологоразведочных работ значительное ухудшение качества среды отмечается в непосредственной близости от источника загрязнения, а также в случае аварийных ситуаций.

### Список литературы

1. Бабьева И.П., Агре Н.С. Практическое руководство по биологии почв. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 140 с.
2. Методические рекомендации по комплексной оценке генетического риска применения фиторегуляторов в растениеводстве / И.К. Блиновский, Л.И. Хрусталева, А.И. Злобин, Ю.М. Головина, Н.В. Балахнина. – М.: Колос, 1992. – 28 с.
3. Биометрия / Н.В. Глотов, Л.А. Животовский, Н.В. Хованов, Н.Н. Хромов-Борисов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. – 264 с.
4. Джамбетова П.М., Реутова Н.В., Ситников М.Н. Влияние нефтезагрязнений на морфологические и цитогенетические характеристики растений // Экологическая генетика. – 2005. – Т.3, № 4. – С. 5–10.
5. Захаров В.М. Асимметрия животных. – М.: Наука, 1987. – 216 с.
6. Здоровье среды: практика оценки / В.М. Захаров, А.Т. Чубинишвили, С.Г. Дмитриев и др. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 318 с.
7. Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Салахова Г.М. Рост и развитие растений яровой пшеницы на нефтезагрязненных почвах и при биоремедиации // Агрохимия. – 2006. – № 1. – С. 5–90.
8. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). – М., 2003. – 25 с.
9. Последствия Чернобыльской катастрофы: Здоровье среды / под ред. В.М. Захарова, Е.Ю. Крысанова. – М., 1996. – 169 с.
10. Седых В.Н., Тараканов В.В. Влияние отходов бурения нефтегазодобычи на прорастание семян древесных растений: Постановка проблемы // Лесоведение. – 2000. – № 4. – С. 51–55.
11. Биоиндикация воздействия горнодобывающей промышленности на наземные экосистемы Севера (морфогенетический подход) / Е.Г. Шадрина, Я.Л. Вольперт, В.А. Данилов, Д.Я. Шадрин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2003. – 110 с.
12. Шадрина Е.Г., Солдатова В.Ю., Данилов В.А. Биоиндикация качества среды в зоне влияния нефте- и газодобывающей промышленности (на примере Якутии) // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования: материалы междунар. научно-практ. конф., посвящ. 75-летию Астрах.ГУ. Т. 1. – Астрахань, 2007. – С. 71–73.
13. Leary P.F., Allendorf F.M. Fluctuating asymmetry as an indicator stress. *Chance use in protect nature* // *Acta Zool. Fennica*. – 1989. – Vol. 4. – P. 214–217.
14. Parsons P.A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress // *Heridity*. – 1992. – №68. – P. 361–364.

### References

1. Bab'eva I.P., Agre N.S. *Practical guidelines to soil biology*. Moscow: Moscow State University Press, 1971. 140 p.
2. Blinovskii I.K., Khrustaleva L.I., Zlobin A.I., Golovina Yu.M., Balakhnina N.V. *Guidelines to the complex estimate of genetic risks of phyto regulator application in crop production*. – Moscow: Kolos, 1992. 28 p.
3. Dzhambetova P.M., Reutova N.V., Sitnikov M.N. *Influence of petrochemical contaminants on morphological and cytogenetical plant characteristics* // *Ecological genetics*. – 2005. T. 3, no. 4. pp. 5–10.
4. Glotov N.V., Zhivotovskii L.A., Khovanov N.V., Khromov-Borisov N.N. *Biometry*. Leningrad: Leningrad University Press, 1982. 264 p.
5. *Guidelines to assessment of environment quality by living organism condition (Assessment of developmental stability of living organisms by the levels of asymmetry of their morphological structures)*. – Moscow., 2003. 25 p.
6. Kireeva N.A., Miftakhova A.M., Salakhova G.M. *Growth and development of spring wheat plants on petroleum-contaminated and bioremediated soils* // *Agrochemistry*. 2006. no. 1. pp. 5–90.
7. Sedykh V.N., Tarakanov V.V. *Influence of oil and gas drilling waste on germination of tree species seeds. Problem statement* // *Silviculture*. 2000. no. 4. pp. 51–55.
8. Shadrina E.G., Soldatova V.Yu., Danilov V.A. *Bioindication of environment quality in the area affected by oil and gas industry (by the example of Yakutia)* // *Ecology of biosystems: challenges for research, indication, and prognosis*. / Proceedings of the international conference in honor of the 75th anniversary of the Astrakhan State University. T. 1. Astrakhan, 2007. pp 71–73
9. Shadrina E.G., Vol'pert Ya.L., Danilov V.A., Shadrin D.Ya. *Bioindication of mining industry impact on land ecosystems of the North (Morphogenetic approach)*, Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch, 2003. 110 p.
10. *The consequences of the Chernobyl disaster: Environment health* / Under the editorship of V.M. Zakharov and E.Yu. Krysanov. Moscow, 1996. 169 p.
11. Zakharov V.M. *Asymmetry in animals*. Moscow: Science, 1987. 216 p.
12. Zakharov V.M., Chubinishvili A.T., Dmitriev S.G., et al. *Environment health: Estimation practice*. Moscow: Center for ecological policy of Russia, 2000. 318 p.
13. Leary P.F., Allendorf F.M. *Fluctuating asymmetry as an indicator stress. Chance use in protect nature* // *Acta Zool. Fennica*. 1989. Vol. 4. pp. 214–217.
14. Parsons P.A. *Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress* // *Heridity*. 1992. no. 68. pp. 361–364.

### Рецензенты:

Ануфриев А.И., д.б.н., главный научный сотрудник Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск.

Колосова О.Н., д.б.н., профессор, зав. кафедрой общественного здоровья и здравоохранения, общей гигиены и биоэтики Медицинского института Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутск.

Работа поступила в редакцию 13.02.2012.