

# Пространственная неоднородность И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА

## ТОКСИЧНОСТИ ВОДЫ

р. Обь в окрестностях г. Барнаул

**В 2007 г. по спектру реакций тест-объектов, включающих протококковые водоросли (*Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus quadricauda*) и низших ракообразных (*Daphnia magna* и *Ceriodaphnia affinis*), установлено, что вода р. Обь была наиболее токсична в районе г. Барнаул (устье затона Ковш), ниже города – менее токсична, выше города – наименее токсична. Это явление соответствует общей закономерности для экологического состояния крупных городов, обусловленных поступлением в реку сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в том числе токсичные соединения. Сезонная динамика токсичности воды связана с активным воздействием на р. Обь в окрестностях г. Барнаул диффузных источников в период половодья.**

### Введение

При использовании водных ресурсов р. Обь в ее верхнем течении для судоходства, ирригации, рекреации, хозяйственно-питьевого водоснабжения и для сброса сточных вод в неё поступают загрязняющие вещества, в том числе токсичные соединения. По имеющимся данным для таких элементов как Mg, Cd, As, Sb, Co и Hg наблюдали тенденцию в снижении их поступления в р. Обь с 1997 по 2007 гг., для Cr с 2001 г., для Cu с 2002 г., для Pb и V с 2003 г. Для Mn отмечена обратная тенденция [1]. Нефтепродукты и железо вносили наибольший вклад в загрязнение воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул в 2004–2007 гг. Характерное загрязнение реки анионоактивными СПАВ воды было выявлено в 2004 г., фенолами в 2004–2005 гг., медью в 2006–2007 гг. [2].

На качество воды р. Обь оказывают влияние не только сосредоточенные источники загрязнения [1], но и диффузные, например поверхностный сток с водосборного бассейна. Так в период половодья р. Обь отмечают

повышенное содержание в ней тяжелых металлов [3, 4].

Эти факторы обуславливают потенциальную опасность использования воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул для рыбного хозяйства и питьевого водоснабжения из-за ее токсичности как для гидробионтов, так и человека. Оценивают токсичность воды р. Обь чаще с помощью химических методов [3–5], которые дают информацию о содержании отдельных загрязняющих веществ. Несмотря на ценность этих данных, они не позволяют в полной мере оценить токсичность воды для живых организмов. Для решения этой задачи используют биологические методы, например, биотестирование. С их помощью получают данные о совокупном воздействии вредных факторов на живые организмы и о потенциальной токсичности среды.

Цель исследования – оценка пространственной неоднородности и сезонной динамики токсичности воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул методами биотестирования.

### Материалы и методы исследования

Бассейн р. Обь в ее верхнем течении расположен на юге Западной Сибири, на востоке к нему примыкают речные системы притоков р. Томь, на западе водосбор ограничен Обь-Иртышским водоразделом. Исследуемый участок р. Обь в районе г. Барнаул, длина которого по судовому ходу составляет около 64 км, находится в 224 км ниже места слияния рек Бия и Катунь [6] при общей длине р. Обь 3650 км.

Для токсикологического анализа в 2007 г. было отобрано 16 проб воды с поверхностно-

**В.В. Горгуленко\***,

инженер, ФГБУН  
Институт водных  
и экологических  
проблем Сибирского  
отделения Российской  
академии наук

\* Адрес для корреспонденции: lada@iwep.ru, glada1477@mail.ru

го горизонта р. Обь (три пробы 29 мая, три пробы 19 июня, шесть проб 24-25 июля, четыре пробы 15 октября) в пунктах, расположенных выше г. Барнаул (пункты 1, 2), в районе города (пункт 3) и ниже города (пункты 4-6) (рис. 1). Токсичность воды оценивали по изменению оптической плотности тест-культуры водорослей хлореллы (*Chlorella vulgaris* Beijer) и коэффициента прироста численности клеток водорослей сценедесмуса (*Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Vreb.), по выживаемости и плодовитости низших ракообразных цериодафний (*Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg) и дафний (*Daphnia magna* Straus). Всего было проведено 64 опыта. Биотестирование воды и статистическую обработку полученных результатов проводили в соответствии с методами ПНД Ф Т 14.1:3:4.10-04 16.1:2.3.7-04, РД 52.24.566-94, ФР.1.39.2001.00283 и ФР.1.39.2001.00282.

Для приведения разнотипных показателей к единой величине рассчитывали индекс токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) согласно формуле, предложенной в [7]:

$$\text{ИТФ} = \text{ТФ}_o / \text{ТФ}_k,$$

где  $\text{ТФ}_o$  – значение регистрируемой тест-функции в опыте,  $\text{ТФ}_k$  – в контроле. В соответствии с классификацией [7], если показатели ИТФ находились в интервале от 0,9 до 1,1, то вода не оказывала токсического действия на функции тест-объектов. Если  $\text{ИТФ} < 0,9$ , то вода оказывала токсическое действие на тест-объект, ингибируя его функции. При  $\text{ИТФ} > 1,1$  вода оказывала токсическое действие на тест-объект, стимулируя его функции.

Безвредный уровень токсичности воды определяли по показателям токсической кратности ее разбавления для роста клеток хлореллы (ТКР) и безвредных кратностей разбавления воды для роста клеток сценедесмуса (БКР), выживаемости (БКР<sub>в</sub>) и плодовитости (БКР<sub>п</sub>) низших ракообразных.

## Результаты и их обсуждение

*Тест-объект – протококковые водоросли*

В период открытой воды 2007 г. вода р. Обь оказывала острое токсическое действие на водоросли хлореллы, ингибируя рост их клеток (ИТФ от 0,13 до 0,84). Исключением была вода в мае, отобранная выше г. Барнаул (у водозабора №2 и д. Ерестная), оказывающая стимулирующее действие на них (ИТФ равно 2,57 и 2,63, соответственно). На водоросли сценедесмуса вода р. Обь оказывала хроническое токсическое действие, стимулируя рост их клеток (ИТФ от 2,19 до 7,57).

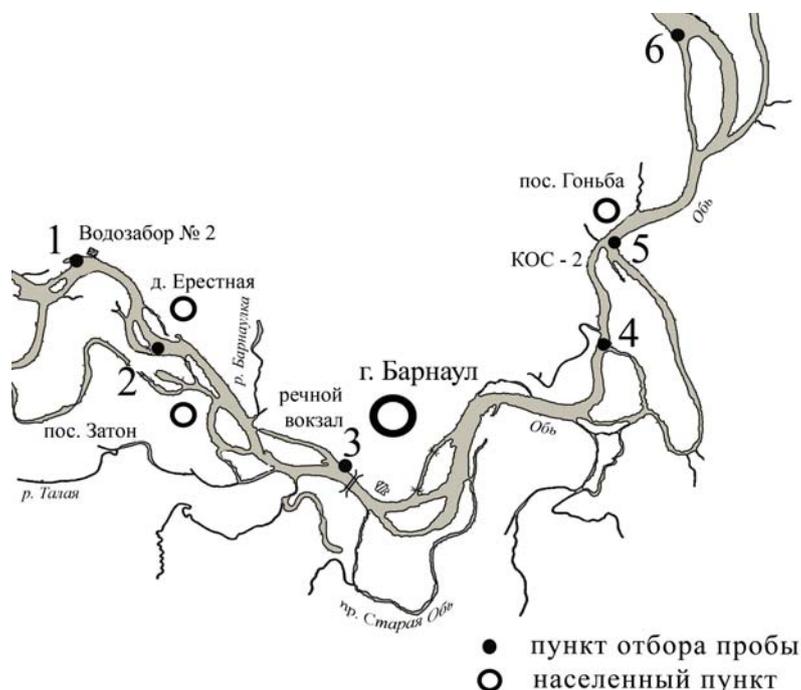
Высокие показатели ингибирования роста клеток хлореллы, стимуляции роста клеток сценедесмуса, а также величины ТКР и БКР, снимающих токсическое действие воды на рост клеток тест-культур протококковых водорослей, получены для воды, отобранной в устье затона Ковш, меньшие – ниже г. Барнаул, наименьшие – выше города.

При сравнении показателей токсичности, полученных для воды р. Обь в разные сезоны, было установлено, что в мае и июне вода реки была более токсична для роста клеток тест-культур водорослей хлореллы и сценедесмуса, чем в июле и октябре.

*Тест-объект – низшие ракообразные*

В 2007 г. зафиксированы случаи хронического токсического действия воды р. Обь на выживаемость цериодафний (ИТФ<sub>в</sub> от 0,2 до 0,8). Это была вода в мае и июле, отобранная в устье затона Ковш, в июле – ниже г. Барнаул (ниже о. Рыбацкий, в устье протоки Повалихинская и ниже Научного городка). На выживаемость дафний вода р. Обь не оказывала токсического действия.

На плодовитость низших ракообразных исследуемая вода оказывала токсическое действие, стимулируя ее у цериодафний (ИТФ<sub>п</sub> от 1,20 до 3,74) и угнетая у дафний (ИТФ<sub>п</sub> от 0,04 до 0,82). Исключением для цериодафний была вода в июне, отобранная



**Рис. 1.** Схема отбора проб воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул: 1 – водозабор № 2, левый берег; 2 – д. Ерестная, правый берег; 3 – устье затона Ковш, левый берег; 4 – ниже о. Рыбацкий, правый берег; 5 – устье протоки Повалихинская, правый берег; 6 – Научный городок, левый берег

Таблица 1

Показатели токсичности для воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул по реакции тест-объектов протококковых водорослей и низших ракообразных в 2007 г.

Пункт	Дата отбора пробы	Хлорелла		Сценедесмус		Цериодафнии				Дафнии			
		ИТФ	ТКР	ИТФ	БКР	ИТФ <sub>в</sub>	БКР <sub>в</sub>	ИТФ <sub>п</sub>	БКР <sub>п</sub>	ИТФ <sub>в</sub>	БКР <sub>в</sub>	ИТФ <sub>п</sub>	БКР <sub>п</sub>
Водозабор № 2, левый берег	29.05	2,57±0,02	5	3,14±0,04	9	1,0±0,0	1	1,20±0,06	9	1,0±0,0	1	0,04±0,01	27
	24.07	0,82±0,01	3	2,19±0,14	3	1,0±0,0	1	2,90±0,97	3	1,0±0,0	1	0,79±0,01	9
д. Ерестная, правый берег	29.05	2,63±0,01	5	3,12±0,04	27	1,0±0,0	1	1,26±0,10	9	1,0±0,0	1	0,03±0,01	27
	24.07	0,84±0,01	3	2,58±0,12	9	0,9±0,1	1	2,96±1,11	3	1,0±0,0	1	0,68±0,04	9
Устье залива Ковш, левый берег	15.10	0,82±0,01	3	2,53±0,03	9	0,9±0,1	1	2,93±0,87	3	1,0±0,0	1	0,61±0,01	9
	29.05	0,13±0,01	65	7,57±0,05	81	0,8±0,1	9	0,93±0,17	81	1,0±0,0	1	0,29±0,02	81
Устье залива Ковш, левый берег	24.07	0,19±0,02	47	6,09±0,06	81	0,6±0,2	9	0,06±0,00	27	1,0±0,0	1	0,57±0,02	81
	15.10	0,35±0,01	38	4,67±0,04	81	1,0±0,0	1	3,74±1,12	3	1,0±0,0	1	0,62±0,01	27
Ниже о. Рыбацкий, правый берег	19.06	0,34±0,01	32	5,38±0,13	81	1,0±0,0	1	1,33±0,12	27	1,0±0,0	1	0,40±0,02	81
	25.07	0,72±0,01	38	3,58±0,09	27	0,2±0,1	9	0,05±0,00	9	1,0±0,0	1	0,67±0,01	27
Устье протоки Повалихинская, правый берег	15.10	0,70±0,01	19	4,88±0,06	27	1,0±0,0	1	3,00±0,77	3	1,0±0,0	1	0,35±0,03	27
	19.06	0,31±0,01	44	4,88±0,06	81	1,0±0,0	1	1,32±0,09	27	1,0±0,0	1	0,59±0,01	27
Ниже Научного городка, левый берег	25.07	0,74±0,02	37	3,76±0,11	27	0,5±0,2	9	1,87±0,09	9	1,0±0,0	1	1,26±0,02	27
	15.10	0,58±0,01	30	3,62±0,11	27	1,0±0,0	1	0,55±0,25	3	1,0±0,0	1	0,35±0,03	27
Ниже Научного городка, левый берег	19.06	0,23±0,01	12	3,76±0,06	27	1,0±0,0	1	0,84±0,07	27	1,0±0,0	1	0,32±0,01	27
	25.07	0,73±0,03	7	3,57±0,09	27	0,7±0,2	3	2,07±0,70	3	1,0±0,0	1	0,82±0,02	9

Примечание: ИТФ, ИТФ<sub>в</sub>, ИТФ<sub>п</sub> – индекс токсичности оцениваемого фактора по показателям изменения оптической плотности тест-культуры водорослей хлореллы, коэффициента прироста клеток водорослей сценедесмуса, выживаемости и плодovitости низших ракообразных цериодафний и дафний

в окрестностях Научного городка, в июле – в устье затона Ковш и ниже о. Рыбацкий, в октябре – в устье протоки Повалихинская, которая угнетала плодовитость рачков (ИТФ<sub>п</sub> от 0,05 до 0,93). Для дафний исключением была вода в июле, отобранная в устье протоки Повалихинская, оказывающая стимулирующее действие на их плодовитость (ИТФ<sub>п</sub> 1,26).

Наибольшее токсическое действие на выживаемость и плодовитость цериодафний оказывала вода реки, отобранная выше г. Барнаул, по сравнению с водой ниже города. На плодовитость дафний наибольшее токсическое действие оказывала вода устья затона Ковш, меньшее – ниже г. Барнаул, наименьшее – выше города.

Наибольшие показатели БКР<sub>п</sub>, снимающие токсическое действие на плодовитость цериодафний и дафний, получены для воды р. Обь, отобранной в устье затона Ковш, меньшие – ниже города, наименьшие – выше города.

Сравнивая показатели токсичности, полученные для воды р. Обь в разные сезоны, было установлено, что для цериодафний и дафний наиболее токсичной была вода в мае и июне, по сравнению с июлем и октябрём.

*Пространственная неоднородность токсичности воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул*  
Сравнение показателей токсичности, полученных в 2007 г. по реакции тест-культур водорослей хлореллы и сценедесмуса, низших ракообразных цериодафний и дафний, показало, что вода р. Обь наиболее токсична в устье затона Ковш, ниже г. Барнаул – менее токсична, выше города – наименее токсична.

Результаты биотестирования воды, полученные для различных пунктов, были сопоставлены с имеющимися данными по биоиндикации [6, 8], биотестированию [9] и химическому анализу воды [3, 5]. Несмотря на то, что химические и биологические исследования воды реки на исследуемом участке были проведены в разные периоды и на близких, но не совпадающих пунктах, полученные данные согласуются с литературными данными и свидетельствуют об увеличении загрязнения р. Обь ниже г. Барнаул. Так, в 1993 г. зоопланктон в реке выше г. Барнаул был представлен олигосапробными организмами, ниже города – бета- и альфа-мезосапробными [8]. В 1993, 1994 и 1998 гг. на участке реки ниже г. Барнаул, в районе поступления городских сточных вод (пос. Гоньба), отмечалось повышенное содержание хлорофилла «а», по сравнению с аналогичным участком выше города [6]. По дан-

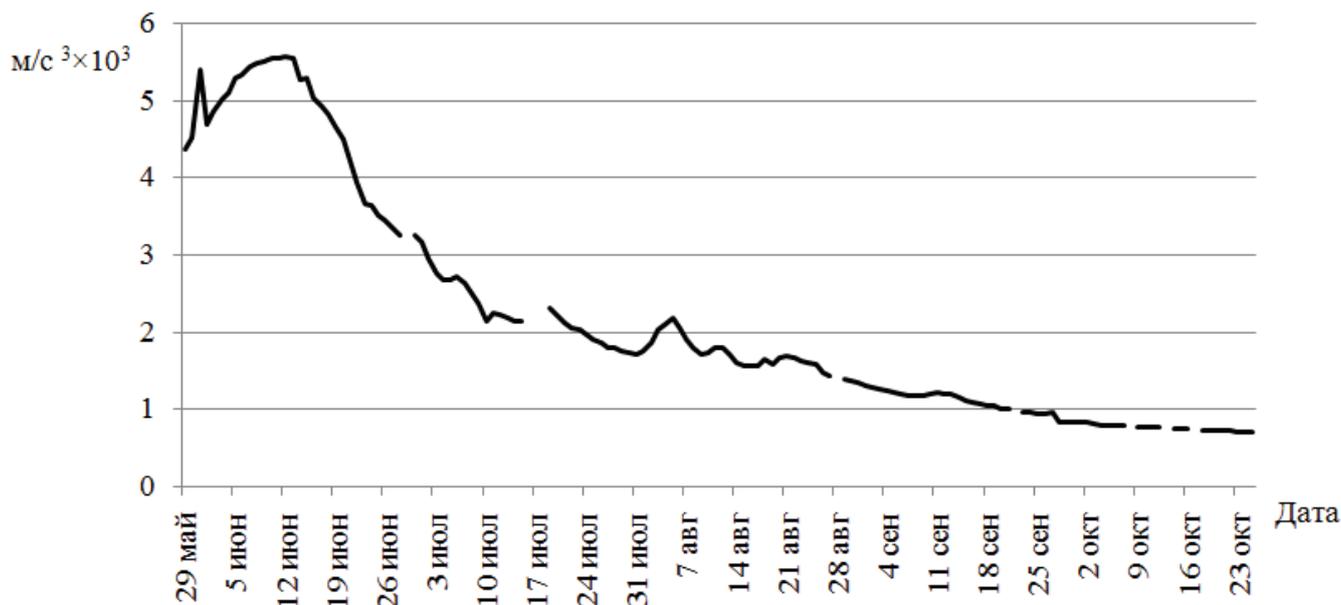
ным биотестирования, полученным в мае 1994 г., вода р. Обь у пос. Южный (выше г. Барнаул) оказывала стимулирующее действие на интенсивность свечения фотобактерий, а у пос. Гоньба (ниже г. Барнаул) – ингибирующее действие. Позже, в июне 1994 г., вода реки как выше, так и ниже г. Барнаул оказывала ингибирующее действие на тест-объект, но ингибирование интенсивности свечения фотобактерий в воде выше города было меньше, чем в воде ниже города [9]. Результаты химического анализа воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул в 2002 г. свидетельствовали о влиянии на ее показатели сточных вод предприятий города. Недостаточная их очистка, как следует из работы [3], способствовала тому, что ниже города повышались минерализация (на 20 %), содержание взвешенных веществ (на 30 %), жесткость (на 12 %), щелочность (на 36 %), окисляемость (на 29–60 %), БПК<sub>5</sub> (на 12 %), содержание нитратов и нитритов (на 23 и 25 %, соответственно), железа (на 10 %) и уменьшалось содержание растворенного кислорода (на 6 %), по сравнению с водой выше города. По данным химического анализа воды, полученным в 2007 г. для воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул, был выделен участок с повышенным содержанием микроэлементов (по содержанию Fe, Cu, Mn, Zn) – устье затона Ковш [5].

Выявленная пространственная неоднородность токсичности воды р. Обь выше и ниже г. Барнаул соответствует общей закономерности для экологического состояния крупных городов, обусловленных поступлением в реку сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в том числе токсичные соединения. При этом к их основным источникам относят коммунальные и промышленные сточные воды, что также может быть одной из причин повышенного уровня токсичности воды р. Обь ниже г. Барнаул в 2007 г. по сравнению с таковым выше города.

*Сезонная динамика токсичности воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул*

По данным 2007 г. установлено, что наиболее токсична для тест-культур водорослей хлореллы и сценедесмуса, низших ракообразных цериодафний и дафний была вода в мае и июне по сравнению с июлем и октябрём. Сопоставление этих данных с величинами расхода речной воды в окрестностях г. Барнаул (рис. 2) показало, что наиболее высокие показатели токсичности воды получены в период половодья реки.

Полученные результаты биотестирования воды согласуются с данными 1994 и 2001 гг. по реакции фотобактерий [9]. Так, в период



**Рис. 2.** Динамика расхода воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул в 2007 г.

первой фазы половодья (19 апреля) 1994 г. вода р. Обь у пос. Южный (выше г. Барнаул) и в период начала половодья (10 апреля) 2001 г. вода в районе автодорожного моста оказывала стимулирующее действие на интенсивность свечения фотобактерий. В период второй фазы половодья (с 21 мая по 2 июня) 1994 г. вода р. Обь у пос. Южный (выше г. Барнаул) и в период первой, второй фазы половодья (с 22 мая по 15 июня) 2001 г. вода реки в районе автодорожного моста оказывала ингибирующее действие на интенсивность свечения фотобактерий. В периоды летней и осенней межени 1994 г. (с 27 июня по 3 ноября) вода у пос. Южный (выше г. Барнаул) не оказывала токсического воздействия на интенсивность свечения фотобактерий. В периоды летней и осенней межени 2001 г. (с 2 июля по 30 ноября) уровень токсичности воды р. Обь в районе автодорожного моста преимущественно был меньше по сравнению с периодом половодья [9].

Выявленная сезонная динамика уровня токсичности воды р. Обь в окрестностях г. Барнаул соответствует общей тенденции для различных водных объектов [10, 11], что, вероятно, связано с активным воздействием на реку диффузных источников в период ее половодья.

## Заключение

**Б**иотестирование воды р. Обь с использованием тест-культур протококковых водорослей и низших ракообразных в 2007 г. показало, что вода в районе г. Бар-

наул (устье затона Ковш) наиболее токсична, ниже г. Барнаул – менее токсична, выше города – наименее токсична.

В мае и июне 2007 г. (период половодья) уровень токсичности воды в реке был больше по сравнению с июлем и октябрём (периоды летней и осенней межени).

Учитывая значимость исследованного участка р. Обь как источника хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Барнаул, целесообразно использовать в экологическом мониторинге реки методы биотестирования.

*Автор выражает благодарность сотрудникам Лаборатории водной экологии ИВЭП СО РАН к.б.н. В.В. Кириллову и к.б.н. Л.В. Яныгиной за консультацию и ценные замечания, к.б.н. М.И. Ковешникову, А.В. Котовщикову, С.О. Власову, Е.Н. Крыловой за отбор проб воды.*

## Литература

1. Балькин С.Н. Вклад сосредоточенных источников в загрязнение водных экосистем Верхней Оби / С.Н. Балькин, А.В. Пузанов // Мир науки, культуры, образования. 2009. Т. 18, № 6. С. 8-10.
2. Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведения водоохраных мероприятий по территории деятельности Западно-Сибирского УГМС. Новосибирск: Западно-Сибирский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды. 2005. Ч. II. 90 с; 2006. Ч. II. 94 с; 2007. Ч. II. 246 с; 2008. Ч. II. 370 с.

3. Яценко Е.С. Техногенное загрязнение экосистемы реки Оби в районе города Барнаула / Е.С. Яценко, В.П. Васильев // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 48-52.
4. Темерев С.В. Мониторинг распределения тяжелых металлов по компонентам водной экосистемы в области влияния крупного промышленного центра (на примере реки Оби в районе г. Барнаула) / С.В. Темерев, Т.С. Папина // Региональное природопользование и экологический мониторинг. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 1996. С. 293-294.
5. Эйрих А.Н. Проблемы экоаналитического контроля крупных рек (на примере р. Обь) / А.Н. Эйрих, С.С. Эйрих, Т.С. Папина и др. // Ползуновский вестник. 2008. № 1-2. С. 157-160.
6. Котовщиков А.В. Оценка экологического состояния реки Оби в районе г. Барнаула на основе пигментных характеристик фитопланктона / А.В. Котовщиков, Т.В. Кириллова, Е.И. Третьякова // Мир науки, культуры, образования. 2010. Т. 20, № 1. С. 105-110.
7. Кабиров Р.Р. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории / Р.Р. Кабиров, А.Р. Сагитова, Н.В. Суханова // Экология. 1997. № 6. С. 408-411.
8. Кириллов В.В. Биологическое разнообразие водных экосистем бассейна Верхней Оби / В.В. Кириллов, И.М. Кикнадзе, Л.В. Руднева и др. // Обской вестник. 1997. № 2-3. С. 61-67.
9. Тушкова Г.И. Экотоксикологическая оценка состояния поверхностных вод бассейна Верхней Оби методами биотестирования // Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования Томск: ООО «Дельтаплан», 1998. С. 363-364.
10. Ковальшева Г.В. Биотестирование вод Ивановского водохранилища с использованием светящихся бактерий *Photobacterium phosphoreum* / Г.В. Ковальшева, Е.Е. Лапина, О.П. Букреева // Водные ресурсы. 1996. Т. 23, № 1. С. 111-115.
11. Горюнова В.Б. Токсикологические показатели речной воды на Нижней Волге / В.Б. Горюнова, С.А. Соколова, А.И. Старцева, Н.Г. Сторожук // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 5. С. 618-622.



V.V. Gorgulenko

## AREAL INHOMOGENEITY AND SEASONAL DYNAMICS OF WATER TOXICITY OF THE OB RIVER IN VICINITY OF THE BARNAUL CITY

Using the reaction spectra of the test objects including protococcus algae (*Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda*) and entomostracans (*Daphnia magna* and *Ceriodaphnia affinis*) it was established in 2007 that the water in the Ob River was most toxic next to the Barnaul City (the outflow of the Kovsh crawl), the water was less toxic downstream of the city; the water features the lowest toxicity upstream of the city. This phenomenon corresponds to the general pattern developed for the ecological situation in large cities dealing with discharge of waste water into rivers; the waste water contains pollutants including toxic compounds. The seasonal toxicity dynamics is associated with the active impact provided on the Ob River by diffuse discharges during flooding in the Barnaul City area.

**Key words:** water biotesting, spatial heterogeneity, seasonal variation