



***Филиал федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Астраханский
государственный технический
университет» в Ташкентской области
Республики Узбекистан***

Факультет высшего образования

Кафедра «Общая экология и экономика»

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ
КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Методические указания к практическим занятиям
для магистров направления 05.04.06 «Экология и
природопользование»

Ташкентская область, Кибрайский район – 2025

Составитель:

к.б.н., доцент, Васильева Е.Г. _____

Рецензент(ы):

к.б.н., доцент, Обухова О.В. _____

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ КОМПОНЕНТОВ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ:** Учебно-метод. указание по дисциплине
«МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ КОМПОНЕНТОВ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ» для магистров направления 05.04.06
«Экология и природопользование»

Краткая аннотация:

В учебно-методическом указании представлены практические работы по биологическим методам оценки качества воды. Биологические подходы к анализу качества воды позволяют понять сложную зависимость видового состава от многих факторов, в то числе и от степени загрязнения водоема.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании
кафедры «Общая экология и экономика»

Протокол от 21.02.2025 г. № 7

Филиал ФГБОУ ВО «АГТУ» в Ташкентской области
Республики Узбекистан

Содержание: Введение

Ошибка! Закладка не определена.

1. Оценка качества или степени загрязнения вод по биологическим показателям	6
2. Определение сапробности водоемов методом Головина	11
3. Установление ступени сапробности водоемов методом Зелинка и Марвана	15
4. Практические работы	18
Контрольные вопросы	21
Рекомендуемая литература	22

Введение

Оценка качества воды в водоеме проводится с помощью химического, бактериологического и биологического метода. Под биологическим методом понимается оценка качества воды по растительному, животному, микробному населению водоема.

Биологическое равновесие водных экосистем поддерживается многочисленными подвижными связями организмов между собой и с окружающей неживой материей. При антропогенном воздействии это равновесие нарушается, что отражается на видовом составе биоценозов. Изменения видового состава происходят уже при столь слабом загрязнении водоемов, которое еще не может быть обнаружено с помощью химического или бактериологического метода. Существующие системы биологического анализа вод при большом разнообразии ситуаций в водоемах позволяют оценить уровень загрязнения ограниченным числом терминов или баллов.

С помощью биологического метода можно обнаружить последствия разового или прерывистого загрязнения, а также позволяет обнаруживать воздействия на водоем, предшествующие времени анализа. Разные организмы характеризуют отрезки времени разной продолжительности и представляют собой регистрирующие аппараты неодинаковой степени чувствительности, поэтому в зависимости от обстоятельств следует использовать различные группы организмов.

Для обнаружения первых признаков хозяйственно-фекального загрязнения наиболее чувствительным является бактериологический

метод. Он может улавливать изменения, происходящие, например, при разовом посещении купающимися водоема, когда ни биологический, ни химический методы не могут зарегистрировать признаки загрязнения. Некоторые бактерии и грибы быстро размножаются уже при столь низких концентрациях органического вещества, которое еще не может изменить БПК. Но бактерии и грибы имеют очень короткий жизненный цикл и поэтому характеризуют короткий отрезок времени.

Простейших в качестве биоиндикаторов следует использовать при сильном бактериальном загрязнении и при контроле за эффективностью биологической очистки по составу населения активного ила. Благодаря широким возможностям распространения представители этой группы являются космополитами и поэтому особенно пригодны для использования в сапробной системе. Они имеют короткий жизненный цикл и, следовательно, характеризуют тоже лишь ближайшее прошлое.

Многоклеточных беспозвоночных и водоросли следует использовать при биологическом анализе вод со слабым органическим загрязнением. Беспозвоночные имеют более продолжительный жизненный цикл, чем простейшие. Поэтому их присутствие характеризует более длинный отрезок времени. Представители этой группы можно использовать для оценки степени загрязнения водоемов как бытовыми, так и промышленными сточными водами.

1. Оценка качества или степени загрязнения вод по биологическим показателям

Оценка качества или степени загрязнения вод по биологическим показателям, то есть по составу фауны и флоры, может производиться двумя путями:

- по индикаторным организмам. Используют заранее разработанными системами индикаторных организмов, с помощью которых по присутствию или отсутствию индикаторных видов или групп и их относительному количеству можно отнести водоем или его участок к определенному классу вод. Примером является система Кольквитца и Марссона и ее последующие модификации.
- по результатам сравнения населения на участках, где загрязнение отсутствует и на загрязненных участках. Заключение делается по результатам сопоставления состава населения на разных станциях (створах) реки или участков водоема, в разной мере подверженных загрязнению.

Кольквитц и Марссон были пионерами в создании системы показательных организмов для оценки степени загрязнения (*сапробности*) вод, которая послужила основой многих последующих систем биологического анализа. Кольквитц и Марссон (1908) выделили четыре зоны сапробности и предложили списки видов индикаторов, характерных для каждой из этих зон. Г.И. Долгов (1926), Г.И. Долгов и Я.Я. Никитинский (1927), обобщив опыт отечественных и зарубежных

исследователей, внесли некоторые изменения в списки Кольквитца-Марссона. Списки Г.И. Долгова и Я.Я. Никитинского в сокращенном виде приводят В.И. Жадин и А.Г. Родина (1950). Либман (Liebmann, 1951, 1962) провел ревизию системы Кольквитца-Марссона и опубликовал перечень показательных видов с описанием экологических условий, в которых эти виды встречаются. Над уточнением списков видов-индикаторов работали Обр (Obr, 1956), Диттмар (Dittmar, 1959), Зелинка, Марван и Кубичек (Zelinka, Marvan, Kubicek, 1959; Zelinka und Marvan, 1961), Зелинка, Сладечек и Сладечкова (Zelinka, Sladecsek, 1964; Sladeczkova und Sladecsek, 1966; Sladecsek, 1969), Бикк и Кунце (Bick und Kunze, 1971) и другие исследователи.

По шкале Кольквитца и Марссона, водоемы или их зоны в зависимости от степени загрязнения органическими веществами подразделяются на поли-, мезо- и олигосапробные.

Полисапробные воды характеризуются почти полным отсутствием свободного кислорода, наличием в воде неразложившихся белков, значительных количеств сероводорода, диоксида углерода, метана и аммиака, восстановительным характером биохимических процессов. Кроме того, они характеризуются обилием сложных биохимических соединений. Основу населения составляют сапрофитные бактерии, численность которых достигает многих сотен миллионов клеток в 1 мл воды. Многочисленны бесцветные жгутиковые и грибы. Из более высоко организованных форм здесь встречаются олигохеты *Tubifex tubifex* и личинки *Eristalis tehax*. Число

видов, обитающих в полисапробных водах невелико, но развиваются они в огромных количествах. Надежными показателями полисапробных вод являются многие бактерии (*Sphaerotilus natans*, *Thioprocyccus ruses* и др.) и грибы. Сообщества бактерий, грибов и простейших, развивающиеся при сильном органическом загрязнении, образуют слизистые обрастания. Некоторые исследователи называют такие биоценозы «грибом» сточных вод.

В *мезосапробных водоемах* загрязнение выражено слабее: неразложившихся белков нет, сероводорода и диоксида углерода немного, кислород присутствует в заметных количествах; однако в воде есть еще такие слабоокисленные азотистые соединения, как аммиак, аминокислоты и амидокислоты. В олигосапробных водах сероводород отсутствует, диоксида углерода мало, количество кислорода близко к величине нормального насыщения, растворенных органических веществ практически нет. Основную группу качественно бедного населения составляют сапрофитные бактерии, количество которых достигает многих десятков миллионов клеток в 1 мл воды. Большое распространение имеют бесцветные жгутиковые, грибы, инфузории. В этой зоне встречаются коловратки, некоторые представители зеленых и синезеленых водорослей. В донных осадках в больших количествах обитают олигохеты из семейства *Tubificidae* и личинки комара *Chironomus plumosus*.

Мезосапробные воды (зоны водоемов) подразделяются на α - и β мезосапробные. В первых встречаются аммиак, amino- и амидокислоты, но уже есть кислород. Минерализация органического вещества в основном идет за счет его аэробного окисления, особенно

бактериального. К индикаторам α -мезосапробных вод относятся некоторые виды синезеленых водорослей (*Oscillatoria*), простейшие (*Cladomonas fruticulosa*, *Podophrya*), коловратки (*Brachionus plicatilis*, *Br. calyciflorus*, *Philodina*), личинки двукрылых (*Chironomus plumosus*, *Culex pipiens*, *Eristalis tenax*). Следующая, β -мезосапробная, подзона характеризуется присутствием аммиака и продуктов его окисления – азотной и азотистой кислоты. Отличается от предыдущих преобладанием окислительных процессов над восстановительными. Благодаря интенсивному фотосинтезу многочисленных растений летом воды бывают перенасыщены кислородом. Аминокислот нет, сероводород встречается в незначительных количествах, кислорода в воде много, минерализация идет за счет полного окисления органического вещества. Содержание органических веществ ничтожно. Видовое разнообразие обитателей этой подзоны гораздо выше, чем в предыдущей, но численность и биомасса организмов ниже. Численность сапрофитных бактерий составляет лишь 20-30 млн. клеток в 1 мл воды. В водах этой зоны многочисленны коловратки, низшие ракообразные, насекомые, моллюски и рыбы.

Олигосапробная зона. Она полностью свободна от загрязнения и обычно перенасыщена кислородом. Население наиболее разнообразно в видовом отношении, но количественно значительно беднее, чем в предыдущих зонах. В числе индикаторов олигосапробных вод можно назвать ветвистоусых рачков (*Bythotrephes longimanus*, *Daphnia longispira*) и моллюска *Dreissena polymorpha*.

В. Сладечек (1966, 1967, 1969) ввел категорию чистых катаробных вод (пресыщение кислородом, отсутствие углекислоты и сероводорода), в качестве характеристик зон сапробности использовал величину БПК – биохимического потребления кислорода и численность бактерий группы кишечной палочки. Пятисуточное потребление кислорода (БПК 5) для катаробных вод близко к 0, для олиго-, α -мезо-, β -мезо- и полисапробных зон оно составило менее 1, 4, 7 и 40 мг/л; бактерии группы кишечной палочки содержится в воде этих зон соответственно более 10, 50, 100, 1000 и 20000 экз./л. В. Сладечек выделил четыре группы вод:

1. Катаробная – наиболее чистые грунтовые воды, минеральные или воды, которые были искусственно подготовлены в качестве питьевой,

2. Лимносапробная – более или менее загрязненные поверхностные или грунтовые воды. Сюда включена почти целая система сапробности (таблица видов – индикаторов):

□ - ксеносапробная зона – наиболее чистые воды,

○ – олигосапробная зона – незагрязненные чистые воды, вода насыщена кислородом, углекислоты мало, сероводород отсутствует,

□ - мезосапробная зона – соединения азота в форме солей аммония, нитритов и нитратов, кислорода обычно много, но возможны заморы у дна и ночью из-за прекращения фотосинтеза, сероводород в небольшом количестве, характер биохимических процессов – окислительный,

□ - мезосапробная зона – условия среды полуанаэробные, характер

биохимических процессов восстановительно-окислительный, присутствует сероводород, *p* – полисапробная зона – в воде присутствуют разлагающиеся белки, анаэробные условия среды, характер биохимических процессов – восстановительный, в воде много сероводорода. Индикаторами являются простейшие (*Tintinidium flaviatile*), коловратки (*Keratella cochlearis*, *Filinia longiseta pedilum*), личинки двукрылых (*Endochiromonus polypedium*), а из растений – ряска малая и трехдольная, роголистник темно-зеленый.

3. Эврисапробная (хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды, которые подвергаются бактериальному разложению: *i*-изосапробная зона – преобладает развитие инфузорий, *m*- метасапробная зона – развитие бесцветных жгутиконосцев, *h* – гиперсапробная зона – развитие бактерий и грибов, *u* – ультросапробная зона – абиотическая степень, наиболее

концентрированные сточные воды.

4. Транссапробная – сточные или поверхностные воды, которые не подчиняются понятию сапробности и не подвергаются биохимическому разложению: большое количество токсических или радиоактивных веществ.

2. Определение сапробности водоемов методом Головина

Метод С. Головина (S. Golowin, 1968) , как и всякий другой биологический метод изучения сапробности, основан на детальном качественном и количественном исследовании флоры и фауны водоема: планктона, бентоса, макрофитов. При этом особое внимание уделяется

организмам-индикаторам, т. е. видам, характерным для зон с различной степенью загрязнения. Списки индикаторов сапробности включают около 2500 видов растений и животных. Число видов, обитающих в полисапробных водах, невелико — около 30: бактерии, грибы, простейшие, коловратки, олигохеты, личинки двукрылых. Видовое разнообразие населения возрастает в α -, β -мезосапробных и особенно в олигосапробной зонах. В методе Головина используется принцип суммирования векторов, каждый из которых показывает численность организмов-индикаторов соответствующей зоны сапробности.

Для определения вектора сапробности составляет диаграмма. Область от 0 до 180° делится на 4 сектора, каждый из которых соответствует определенной зоне сапробности: 1—2, от 180 до 135° — границы олигосапробной зоны, 2—3, от 135 до 90° — границы β -мезосапробной зоны, от 90 до 45° — границы α -мезосапробной зоны, 4—5, от 45 до 0° — границы полисапробной зоны (рис. 1).

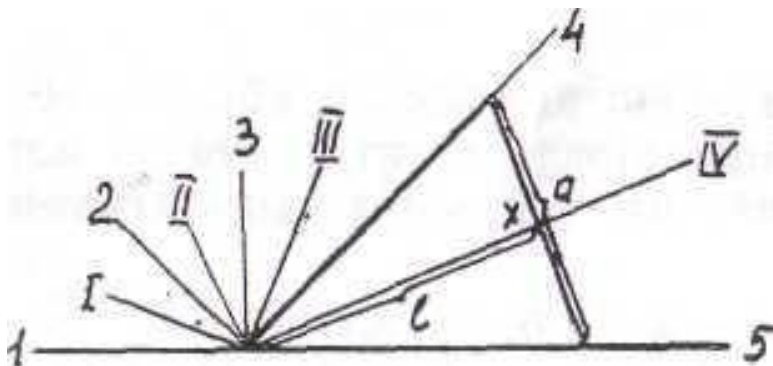


Рис. 1 Построение диаграммы для определения вектора сапробности.

Каждый сектор в свою очередь делится пополам. И эта средняя линия определяется, как ось соответствующей группы сапробов. Ось олигосапробов (I) располагается под углом $157^{\circ}30'$. Ось β -мезосапробов (II) под углом $112^{\circ}30'$. Ось α -мезосапробов (III) под углом $67^{\circ}30'$ и ось полисапробов (IV) под углом $22^{\circ}30'$ к линиям 1—5 диаграммы.

На указанных осях откладывается число организмов-индикаторов соответствующей зоны сапробности, обнаруженных в данной пробе. При этом используется определенный масштаб, например, 1 мм = 5; 20; 100 и т. д. экземпляров.

Отложенные по осям отрезки суммируются по правилу сложения векторов. Полученный результирующий отрезок называется вектором сапробности S . Угол результирующего вектора обозначает сапробное значение сообщества в исследуемой пробе. На основе его величины дается заключение о характере сообщества исследуемой пробы.

Пример: общая численность организмов-индикаторов по зонам сапробности для планктона водоема приведена в таблице 1.

Таблица 1

Данные, полученные 25/VI 2006 г. на станции 3 (глубина 5,00 м)

Группа сапробности	Количество в 1 л
Олигосапробы	90
β -мезосапробы	470
α -мезосапробы	453

Полисапробы	1660
Значение угла вектора сапробности S	53°

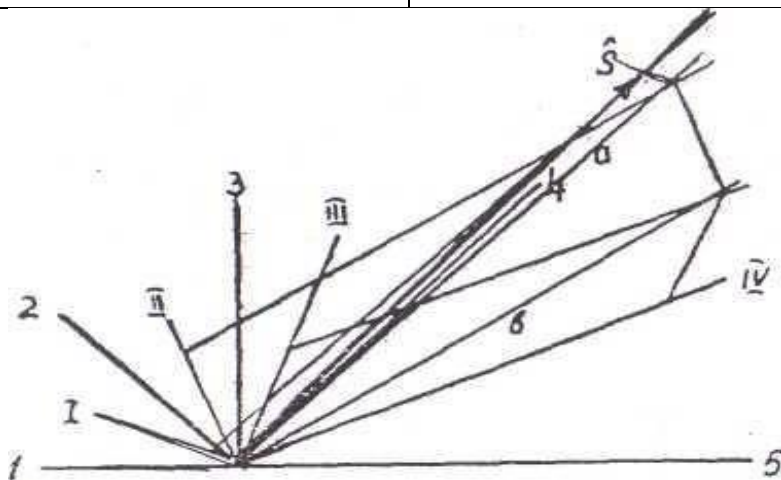


Рис.2. Пример построения вектора S

Примем масштаб 1 мм равный 20 экземплярам. В соответствии с этим на оси откладывается отрезок, равный 4,5 мм ($90:20=4,5$ мм), на оси II — отрезок, равный 23,5 мм, на оси III, равный 22,7 мм, на оси IV — 83,0 мм. Величины этих отрезков складываются по принципу суммирования векторов (правило параллелограмма: от конца отрезка IV откладываем отрезок, параллельный и равный отрезку III, тогда вектор b — диагональ полученного параллелограмма и есть сумма отрезков III и IV, затем по тому же принципу складываем вектор b и отрезок II и т.д.). Последовательно складывая эти отрезки, получаем вектор результирующий вектор S. Угол результирующего вектора S дает общее сапробное значение организмов в исследуемой пробе. В данном примере (рис. 2) вектор 5 расположен между линиями 3 и 4, что указывает на α -мезосапробный характер сообщества. Причем, положение вектора S вблизи границы полисапробной зоны означает очень сильную связь с этой зоной.

3. Установление ступени сапробности водоемов методом

Зелинка и Марвана

Многие виды индикаторы встречаются в водах двух или даже трех ступеней или зон сапробности, что является причиной неточности при установлении средней сапробности биоценоза. Чтобы уточнить результаты биологического анализа Зелинка и Марван (1961) ввели понятие *сапробной валентности*. Сапробная валентность вида показывает, в какой мере он характерен для той или иной ступени сапробности. Сапробные валентности выражают одной или несколькими цифрами, сумма которых для вида равна 10. Например, *Baetis gemellus* (табл.2) характерна для двух степеней сапробности, но в большей степени для ксеносапробной ступени.

Таблица 2

Поденки из списка индикаторов сапробности Зелинка и Марвана

Вид	Сапробные валентности					J
	A	B	C	D	E	
	х	о	β	α	ρ	
<i>Ameletus inopinatus</i>	10	-	-	-	-	5
<i>Baetis gemellus</i>	7	3	-	-	-	3
<i>Baetis pimus</i>	1	4	4	1	-	1
<i>Baetis rodani</i>	3	3	3	1	-	1
<i>Ephemers danica</i>	1	4	4	1	-	1

Чтобы при оценке степени загрязнения повысить роль видов, присутствие которых характерно для определенной степени сапробности, по сравнению с видами, встречающимися в разной сапробности, Зелинка и Марван вводят понятие *индикаторного веса* (J), который оценивается для каждого вида в баллах от 1 до 5, и который показывает насколько высоко индикаторное значение того или иного вида. Так, например, индикаторный вес для *Ameletus inopinatus* (табл. 2) равен 5 в связи с тем, что данный вид встречается лишь в одной зоне – ксеносапробной.

При расчете показателей загрязнения учитывается также количество особей показательных видов, которое может быть выражено в абсолютном числе особей, условных баллах или в процентных соотношениях.

Для определения степени сапробности всего биоценоза рассчитывают средневзвешенные сапробные валентности для ксеносапробной ступени – А, для олигосапробной ступени – В и т.д. для всех зон по формулам

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \times h_i \times J_i}{\sum h_i \times J_i}; \quad B = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \times h_i \times J_i}{\sum h_i \times J_i} \text{ и т.д.,}$$

где h_i – величина, характеризующая количество особей i -того вида,

J_i – индикаторный вес i -того вида (табл.6); a_i , b_i – сапробные валентности вида i в соответствующих зонах (табл. 6).

Полученные величины (A,B,C,D,E) являются средневзвешенными валентностями биоценоза, сумма которых равна 10. Соотношение A:B:C:D:E следует понимать как картину сапробных условий в биоценозе. Положение наивысшего значения в этом ряду определяет к какой ступени сапробности следует отнести изучаемый биоценоз. Средние величины позволяют судить о том, в какую сторону возможны отклонения.

4. Практические работы

Практическая работа №1

Определение сапробности водоема методом Головина

Задание: определить сапробность сообществ планктона и бентоса в водоеме.

Таблица 3

Общая численность планктонных или донных организмов-индикаторов по зонам сапробности

Группа сапробности	Количество в 1 л						
	варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
Олигосапробы	80	95	79	100	99	86	88
β -мезосапробы	370	480	542	417	396	410	450
α -мезосапробы	463	499	522	476	490	486	504
Полисапробы	1660	1667	1527	1794	1583	1884	1641
Значение угла вектора сапробности S							

Практическая работа № 2
Установление сапробности водоема
методом Зелинка и Марвана

Задание: В озере Щучье Самарской области для определения степени сапробности водоема были проведены гидробиологические исследования. В пробе были определены следующие виды – индикаторы:

Таблица 4

ВИД	Количество особей						
	Вариант						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Habrotrocha reclusa</i>			3			17	
<i>Rotatoria citrina</i>	25			12			
<i>Keratella quadrata</i>		13					7
<i>Filinia longiseta</i>			4		20		
<i>Bosmina coregony</i>	20	18					
<i>Leptodora kindti</i>	10						26
<i>Eucyclops</i> sp.		11				22	
<i>Cyclops strenuus</i>			17				14
<i>Daphnia magna</i>					30		20
<i>Daphnia longispina</i>				14		7	
<i>Daphnia pulex</i>		5					3
<i>Sida crystallina</i>			15		4		
<i>Ameletus inopinatus</i>	3					25	
<i>Moina macropoda</i>				1			

Leptodora kindtii		41		6	8		
Alonella excisa	11					9	
Astacus leptodactylus			19	4	19		

Используя список видов – индикаторов сапробности Зелинка и Марвана (табл. 4), рассчитать средневзвешенные сапробные валентности для каждой зоны и определить степень сапробности всего биоценоза, заполнив таблицу 5.

Таблица 5

ВИД	A	B	C	D	E	J	Количество особей
	□	o	□	□	p		
Суммы (□) в числителе							
Суммы (□) в знаменателе							
Средневзвешенные сапробности биоценоза							

Контрольные вопросы

1. Что такое организмы-индикаторы?
2. Что такое сапробность?
3. Что добавили Зелинка и Марван в метод Кольквитца и Марссона?
4. Что отражает индикаторный вес организма?
5. Что такое сапробная валентность вида?
6. В каких случаях для оценки качества воды следует использовать бактериологический метод?
7. Какие биоценозы называют «грибом» сточных вод?

Рекомендуемая литература

1. Кононова, М. Ю. Экология. Оценка и прогноз качества воды в бьефах ГЭС (ГАЭС) : учебное пособие / М. Ю. Кононова. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2014. — 222 с. — ISBN 978-5-7422-4378-6. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/43984.html>

2. Волкова, И. В. Оценка качества воды водоемов рыбохозяйственного назначения : учебное пособие для вузов / И. В. Волкова, Т. С. Ершова, С. В. Шипулин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 294 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08549-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/514181> .

3. Решетняк, О. С. Методы оценки качества поверхностных вод суши : учебное пособие / О. С. Решетняк. — Ростов-на-Дону, Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2017. — 128 с. — ISBN 978-5-9275-2427-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/87440.html>

4. Хаустов, А. П. Экологический мониторинг : учебник для вузов / А. П. Хаустов, М. М. Редина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 543 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10447-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489133>

5. Скупченко, В.Б. Биоиндикация окружающей среды: учебное пособие [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Б. Скупченко, Л.О. Соколова. — Электрон. дан. — СПб. : СПбГЛТУ (Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет), 2009. — 73 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=45196 (ЭБС)

6. Латышенко, К. П. Экологический мониторинг : учебник и практикум для вузов / К. П. Латышенко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 424 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534- 13721-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489160>