

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИЯВОК В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ИРТЫШ

© 2020

Федорова Л.И.

Сургутский государственный университет

(г. Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Российская Федерация)

Аннотация. Река Иртыш является трансграничным водотоком, который демонстрирует широкий спектр климатических условий окружающей среды и экологических ниш. В результате техногенного воздействия промышленных предприятий на поверхностные и подземные воды все основные притоки среднего течения р. Иртыш находятся в различной степени загрязнения. Из-за воздействия сточных вод и других отходов горнорудной и металлургической промышленности в водах бассейна р. Иртыш наблюдается превышение концентрации ряда токсичных металлов. Среди беспозвоночных, применяемых для оценки состояния природных вод, зачастую используются представители типа Annelida. Кольчатые черви относятся к числу наиболее распространенных на Земле организмов, что позволяет проводить их изучение во многих регионах, а также дает возможность оценить специфику воздействия и сопоставлять влияние различных загрязнителей в схожих природно-климатических зонах. Известно, что распространение пресноводных пиявок во многом обуславливается природно-климатическими условиями, характеристикой ландшафта, спецификой трофических связей и т.д. К наиболее важным параметрам относятся физико-химические свойства воды. В данной статье приведены сведения о факторах, оказывающих влияние на видовой состав и структурные показатели сообществ пиявок, обитающих в среднем течении реки Иртыш.

Ключевые слова: река Иртыш; пресноводные пиявки; Hirudinea; эйдэкология; структура гирудофауны; пространственное распределение; корреляция; особенности фауны пиявок.

ENVIRONMENTAL FACTORS INFLUENCE ON LEECHES DISTRIBUTION IN THE MIDDLE REACHES OF THE IRTYSH RIVER

© 2020

Fedorova L.I.

Surgut State University (Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russian Federation)

Abstract. The Irtysh River is a transboundary watercourse that exhibits a wide range of climatic conditions, environments and ecological niches. As a result of the technogenic impact of industrial enterprises on surface and underground waters – all the main tributaries of the middle reaches of the river Irtysh are in different degrees of pollution. Due to the impact of sewage and other wastes from the mining and metallurgical industry, in the waters of the river basin Irtysh the concentration excess of a number of toxic metals is observed. Among the invertebrates used to assess the state of natural waters, representatives of the Annelida type are often used. Since annelids are among the most common organisms on Earth, this makes it possible to study them in many regions and to assess the specificity of the impact and compare the impact of various pollutants in similar natural and climatic zones. It is known that the distribution of freshwater leeches is largely determined by natural and climatic conditions, landscape characteristics and the specifics of trophic connections, etc. In this case, the most important parameters are the physicochemical properties of water. This paper provides information on the factors influencing the species composition and structural indicators of leech communities living in the middle reaches of the Irtysh River.

Keywords: Irtysh river; freshwater leeches; Hirudinea; eidecology; structure of hirudofauna; spatial distribution; correlation; features of leech fauna.

Введение

В настоящее время управлению трансграничными водными объектами уделяется большое внимание как на региональном, так и на международном уровне [1]. Несмотря на принимаемые меры по регулированию состояния качества природных вод, дестабилизационные процессы в водных экосистемах имеют тенденцию к росту. При этом, изменение видового состава организмов, поддерживающих целостность и устойчивость водных экосистем, а также утрата биоразнообразия совпадают со многими антропогенными нарушениями, такими как закисление, эвтрофикация, цветение водорослей и прибрежная гипоксия [2; 3]. В связи с наблюдаемыми процессами отмечается постепенное смещение акцентов от оценки качества воды как ресурса в сторону оценки водной

среды как местообитания организмов и изучения общего экологического состояния водных объектов [4].

Пресноводные пиявки в числе водных беспозвоночных выступают в трофических сетях в качестве хищников, паразитов, жертв, а также промежуточных хозяев и переносчиков паразитарных организмов [5–7]. Представители данного подкласса относятся к долгоживущим компонентам различных типов водоемов, при этом характеризуются постоянством видового состава и стабильной локализацией на определенных местах обитания. В последнее время особое внимание к изучению гирудинид проявляется в связи с их возможным применением в качестве индикаторов состояния поверхностных вод [8; 9]. Однако интерпретация сведений и разработка методологической основы для их применения в этих целях зна-

чительно усложняются в связи с недостатком опубликованных сведений об экологической валентности пресноводных пиявок в естественной среде обитания.

Большая часть Средней Азии, в частности водосборный бассейн р. Иртыш, остается недостаточно изученным в отношении пиявок регионом. Иртыш является трансграничным водным объектом, который берет свое начало на границе Монголии и Китая, протекая по территории Казахстана, а затем России, где впадает в р. Обь [10]. Общая его протяженность, включая Черный Иртыш, составляет 4248 км, при общей площади бассейна 1643 тыс. км². При этом верховья Иртыша (протяженностью 527 км) находятся в Китае, средняя его часть (1637 км) – пределах Казахстана, а низовье (2084 км) – в России [11]. Средний участок реки располагается на границе Западно-Сибирской равнины, Алтайских гор, Казахстанского мелкосопочника и охватывает территорию площадью 354,2 тыс. км² [12].

Немаловажной проблемой, оказывающей влияние на экосистему бассейна р. Иртыш, является антропогенное воздействие, усилившееся в результате развития и дальнейшего функционирования ряда отраслей, таких как цветная металлургия, машиностроение, химическая, легкая и пищевая промышленность. Основными источниками загрязняющих веществ и токсичных компонентов в водах рассматриваемого бассейна являются промышленные стоки и выбросы горных разработок, обнаженных поверхностей горных выработок, их отвалы, хвосто- и продуктохранилища, а также обогатительные фабрики [13].

Согласно литературным источникам [13; 14], по степени загрязнения поверхностных вод казахстанская часть бассейна р. Иртыш территориально подразделяется на 5 эколого-гидрохимических районов

(рис. 1). Промышленные предприятия сосредоточены главным образом в городах Усть-Каменогорск, Лениногорск, Зыряновск, Серебрянск и Шемонаиха. В крупных населенных пунктах наблюдается загрязнение коммунально-бытовыми стоками, что связано с недостаточной мощностью очистных сооружений [13]. Исходя из вышеизложенного, встает вопрос об организации гидробиологического мониторинга на различных участках бассейна р. Иртыш.

Целью данной работы является изучение экологических факторов, влияющих на видовой состав пиявок в среднем течении р. Иртыш, и выявление степени их влияния на структурные показатели сообществ пиявок.

Материалы и методы

Биологический материал был собран во время экспедиционных работ 2014–2015 гг. в прибрежной части водоемов и водотоков, входящих в различные районы загрязнения (табл. 1). Все районы сбора проб, исходя из их гидрологических особенностей, были подразделены на следующие типы: текущие воды – основное русло р. Иртыш и его притоки – горные реки; равнинные реки, протоки; стоячие воды – озера, временно стоячие водоемы: старицы и водохранилища.

В местах сбора биологических проб с помощью многопараметрического тестера PCSTestr 35 Series (Oakton, Eutechinstruments) были определены следующие показатели воды: общий уровень минерализации, pH, температура, содержание солей и электропроводность. Степень загрязнения поверхностных вод в изучаемых водных объектах указана на основании гидрохимического индекса загрязнения воды (ИЗВ) (рис. 1).

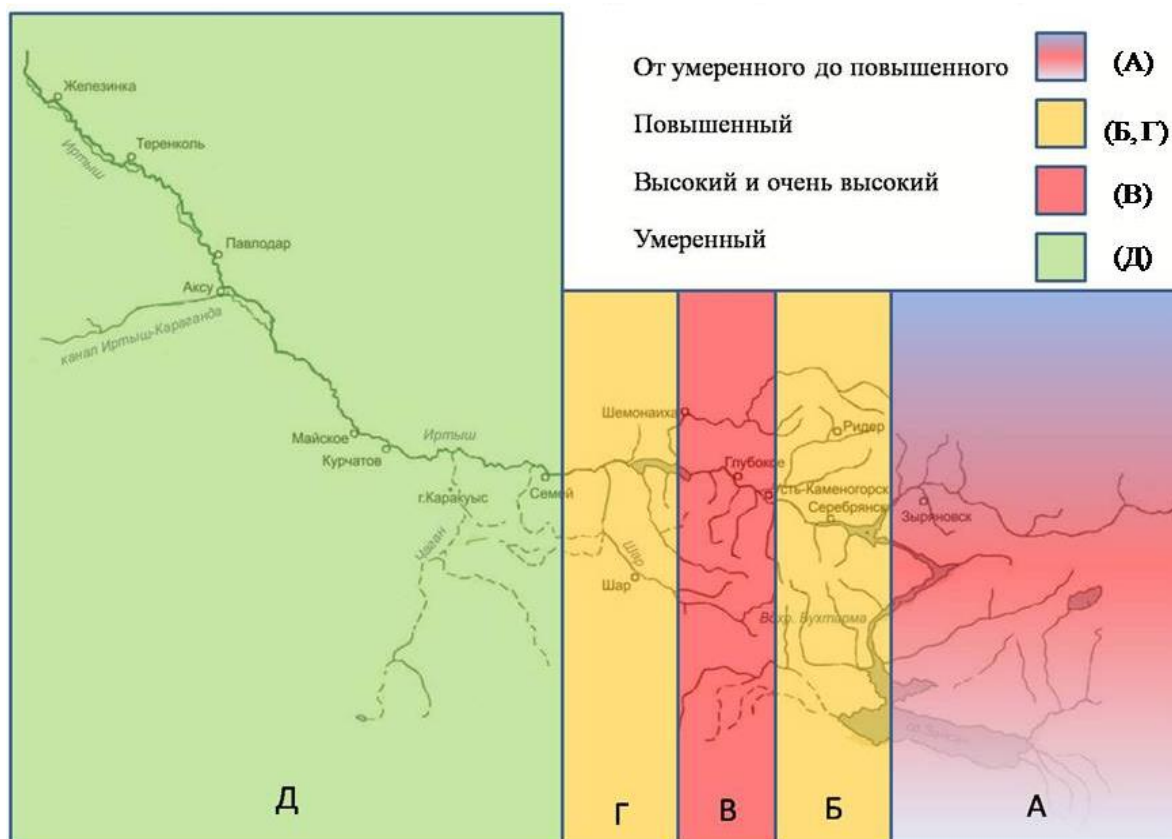


Рисунок 1 – Эколого-гидрохимические районы среднего течения р. Иртыш по степени загрязнения поверхностных вод

Таблица 1 – Места отбора и координаты проб

№	Название водоема	Географические координаты	Уровень загрязнения
1	р. Иртыш	50°25'26" с.ш., 80°12'34" в.д.	умеренный
2	р. Иртыш	49°56'19" с.ш., 82°37'29" в.д.	высокий и очень высокий
3	р. Иртыш	52°18'33" с.ш., 76°53'00" в.д.	умеренный
4	р. Иртыш	52°19'17" с.ш., 76°56'06" в.д.	умеренный
5	р. Иртыш	52°16'52" с.ш., 76°56'06" в.д.	умеренный
6	р. Иртыш	50°43'39" с.ш., 80°20'26" в.д.	умеренный
7	Семипалатинская протока	50°24'06" с.ш., 80°14'36" в.д.	умеренный
8	р. Ульба	49°57'36" с.ш., 82°37'38" в.д.	высокий и очень высокий
9	р. Уланка	49°58'13" с.ш., 82°26'10" в.д.	высокий и очень высокий
10	р. Дресвянка	50°02'28" с.ш., 82°20'23" в.д.	высокий и очень высокий
11	р. Песчанка	50°10'08" с.ш., 82°03'07" в.д.	высокий и очень высокий
12	р. Кызылсу	50°06'14" с.ш., 81°32'56" в.д.	высокий и очень высокий
13	р. Карасу	50°01'48" с.ш., 81°19'35" в.д.	высокий и очень высокий
14	р. Шар	50°21'40" с.ш., 80°53'07" в.д.	повышенный
15	Шульбинское вдхр.	50°22'53" с.ш., 81°06'13" в.д.	повышенный
16	Шульбинское вдхр.	50°23'36" с.ш., 81°05'36" в.д.	повышенный
17	Бухтарминское вдхр.	49°36'58" с.ш., 83°31'33" в.д.	повышенный
18	Бухтарминское вдхр.	49°37'01" с.ш., 83°34'18" в.д.	повышенный
19	Бухтарминское вдхр.	49°37'39" с.ш., 83°27'21" в.д.	повышенный
20	оз. Малое	50°43'45" с.ш., 79°40'15" в.д.	умеренный
21	оз. Большое	50°43'16" с.ш., 79°40'49" в.д.	умеренный
22	оз. Безымянное	50°52'37" с.ш., 79°30'40" в.д.	умеренный
23	оз. Колхозное	50°23'37" с.ш., 80°28'24" в.д.	повышенный

Отлов пиявок проводился вручную или с помощью гидробиологических сачков в диапазоне глубин 0–1,5 м. Для количественного учета особей применялась гидробиологическая рамка с площадью захвата 1 м². Собранный материал фиксировался 80%-ным этанолом с предварительной анестезией животных низкопроцентным раствором спирта. Видовое определение и камеральная обработка проводились в лабораторных условиях с использованием бинокулярного микроскопа МСП-2 (ЛОМО).

Видовая принадлежность пиявок определялась в соответствии с существующими систематическими ключами и современной классификацией [15; 16]. Все биологические образцы были промаркированы и определены на хранение в коллекцию лаборатории аналитической и биоорганической химии Лимнологического института СО РАН (г. Иркутск, Россия).

В целях поиска взаимосвязи между таксономическим составом фауны пиявок и физико-химическими показателями среды обитания был проведен анализ методами многомерной статистики. Для статистических расчетов и визуализации результатов исследования использовались возможности языка программирования R с применением программного пакета «Vegan» [17; 18]. Взаимосвязь между характеристиками разнообразия сообществ пиявок (количество видов, общая численность, биомасса, количество макрофаговых и паразитических пиявок) и количественными абиотическими факторами среды оценивалась с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена [19].

Перед проведением статистического анализа массив данных и количественные абиотические параметры среды был нормализован с ранжированием диапазона значений от 0 до 1 для каждого фактора. Количественные данные видового обилия были проанализированы методом многомерной ординации (неметрическое многомерное масштабирование – далее MDS) с использованием меры различия «gower».

Степень влияния числовых абиотических переменных на формирование видового разнообразия и численность пиявок была оценена при помощи коэффициента детерминации R² и перестановочных тестов. R² был рассчитан для линейной регрессии, описывающей взаимосвязь между независимыми переменными: координатами точек сбора в двумерном пространстве MDS и зависимой переменной – показателем степени загрязнения. Для определения взаимосвязи между показателями видового разнообразия сообществ с качественными абиотическими факторами R² был рассчитан посредством одностороннего дисперсионного анализа. Тепловая карта корреляционных взаимосвязей сгенерирована с помощью программного пакета «gplot» [20].

Результаты и их обсуждение

Несмотря на распространенное мнение, что большинство представителей подкласса Hirudinea являются эврибионтными организмами, такую точку зрения нельзя признать абсолютно верной. Лишь немногие виды гирудинид можно отнести к эврибионтам, большинство же видов, как правило, обитают в водах со свойственными их жизнедеятельности благоприятными условиями, что так или иначе отражается на частоте их встречаемости, плотности, биомассе и других популяционных показателях.

Для определения специфики влияния внешних факторов на фауну пиявок и установления характера их взаимосвязи в среднем течении р. Иртыш было учтено пять структурных показателей сообществ пиявок, которые были определены для каждой пробы: общее количество видов, численность, биомасса, индекс плотности населения, количество непаразитических и паразитических пиявок. Наряду с этим для каждой точки отбора проб были определены следующие параметры среды: тип водной среды, уровень загрязнения, температура воды на момент отбора пробы, pH, общий уровень минерализации, содержание солей и электропроводность.

Предварительный анализ полученных данных показал, что на участках бассейна реки Иртыш, подвергающихся наиболее сильному антропогенному воздействию, наблюдается обеднение видового состава, снижение численности и показателя биомассы по сравнению с таковыми на относительно чистых участках водного бассейна. Количество видов в экосистемах с высоким уровнем загрязнения варьирует от 0 до 3 видов, в водоемах и водотоках с повышенным уровнем загрязнения этот показатель находится в пределах от 2 до 6 видов. Наиболее высоких показателей видовое разнообразие достигает в водах с умеренным уровнем загрязнения – от 1 до 8 видов. С повышением уровня загрязнения происходит перераспределение доминирующих видов пиявок и снижение количества видов и численности пиявок. В водных экосистемах с высоким уровнем загрязнения воды встречаются одиночные особи, вероятно наиболее устойчивые к воздействию различных загрязняющих веществ. К ним можно отнести представителей родов *Erpobdella* и *Helobdella*.

Для оценки степени влияния абиотических факторов на формирование видового разнообразия и численность пиявок был определен коэффициент детерминации (R^2). Полученные показатели приняли значение от 0 до 1. При этом, чем ближе значение R^2 к числу 1 – тем более выражено влияние фактора окружающей среды на структурные показатели фауны пиявок (табл. 2).

Статистическая достоверность значения коэффициента детерминации была оценена при помощи перестановочного теста, показатель которого обуславливает долю вариабельности видового состава, определяемую различными факторами среды. Вместе с тем, воздействие определенного фактора на структурные показатели считается достоверными при значении уровня значимости меньше 0,05.

Таблица 2 – Результаты анализа влияния факторов на видовой состав сообществ пиявок

Наименования фактора	Коэффициент детерминации (R^2)	Уровень значимости (P-value)
Температура воды	0,126	0,244
pH	0,076	0,439
Электропроводность	0,048	0,593
Минерализация	0,049	0,589
Соленость	0,049	0,591
Уровень загрязнения	0,255	0,050
Тип водной среды	0,600	0,001

Из рассматриваемых факторов среды вышеназванным критериям соответствуют только два: уровень загрязнения и тип водной среды. Значение коэффициента детерминации для фактора загрязнения ($R^2 = 0,255$) было приблизительно в 2,35 раза меньше, чем для типа водоема ($R^2 = 0,6$). При этом наибольшее влияние он оказывал на общее количество видов и количество паразитических пиявок и в меньшей степени на обилие особей. Остальные рассматриваемые факторы (температура в момент отбора проб, pH, электропроводность, минерализация, соленость) не оказали достоверного влияния на видовое разнообразие и количественное соотношение видов в сообществах.

Для определения специфики влияния внешних факторов на гирудофауну и для определения характера их взаимосвязи был проведен корреляционный анализ, результаты которого отображены в виде тепловой карты, где столбцы и строки были сгруппированы по сходству значений полученных коэффициентов корреляции (рис. 2).

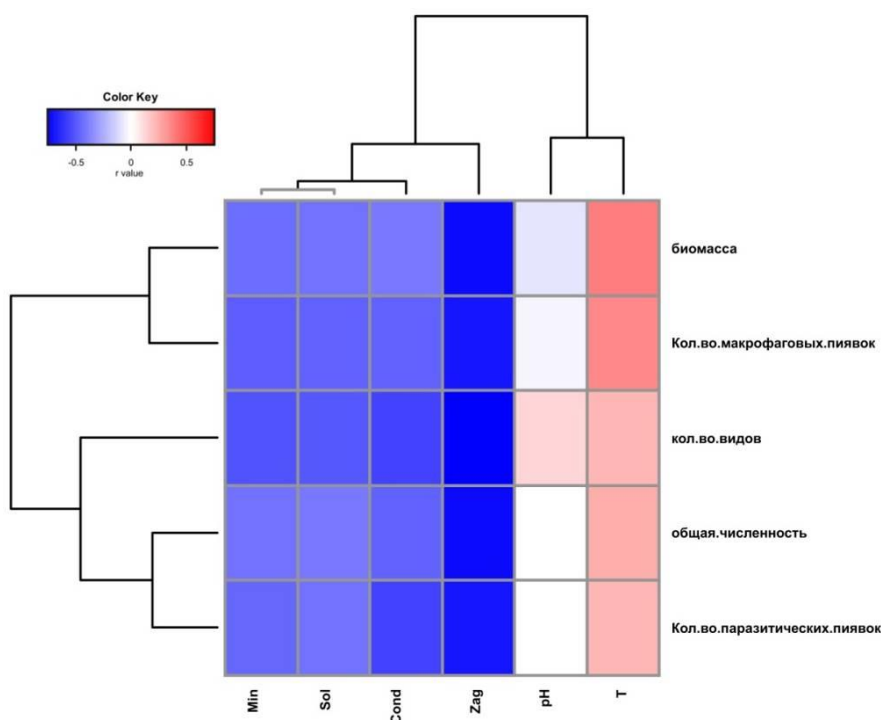


Рисунок 2 – Тепловая карта корреляционных взаимосвязей между различными количественными показателями, характеризующими биоразнообразие в сообществе пиявок и количественными абиотическими факторами окружающей среды

Результаты обработанного массива данных дали основание полагать, что на структурные показатели сообществ пиявок в среднем течении р. Иртыш наибольшее влияние оказывают тип водоема и уровень загрязнения. Обуславливается это тем, что значение коэффициента линейной корреляции между уровнем загрязнения и всеми показателями разнообразия (общее количество видов, общая численность, биомасса, количество макрофаговых и паразитических пиявок) соответствовало показателю $-0,7$. Из чего можно заключить, что увеличение уровня загрязнения приводит к уменьшению оцениваемых структурных показателей.

Увеличение других показателей – соленость, электропроводность, минерализация – отрицательно сказывались на всех показателях гирудофауны (значение коэффициента корреляции варьировало от $-0,55$ до $-0,39$). Косвенное отрицательное влияние увеличения солености, электропроводности и минерализации может объясняться тем, что эти показатели, как правило, возрастают при увеличении уровня загрязнения. Влияние показателя кислотности pH на разнообразие отсутствовало (значение коэффициента корреляции близко к 0). При увеличении температуры все показатели разнообразия в небольшой степени увеличивались (значение коэффициента корреляции варьировало от $0,22$ до $0,37$). Данный показатель оказывал незначительное влияние на увеличение показателей биомассы ($r = 0,37$) и количества макрофаговых пиявок ($r = 0,36$).

Выводы

В результате проведенного статистического анализа было рассмотрено действие абиотических факторов среды на состав и распределение пиявок. Полученные результаты позволили установить закономерности их распределения в различных типах водных сред и определить достоверное влияние степени загрязнения на структурные показатели сообществ гирудинид.

Исходя из полученных данных, можно заключить, что увеличение уровня загрязнения в водных объектах бассейна р. Иртыш приводит к обеднению видового состава, снижению численности и биомассы пиявок в рассматриваемых водных экосистемах. Таким образом, оценка видового богатства гирудофауны может быть успешно использована в качестве косвенного индикатора уровня загрязнения водных объектов.

Благодарность

Автор выражает искреннюю признательность Федоровой Елизавете Арефьевне и Сулейманову Александру Юрьевичу за помощь в организации экспедиционных работ, а также к.б.н. Букину Юрию Сергеевичу за консультации по применению методов многомерной статистики.

Список литературы:

1. Бейсембаева М.А., Дубровская Л.И., Земцов В.А. Антропогенные изменения водных ресурсов и максимальных уровней реки Иртыш в равнинной части бассейна в Республике Казахстан // Известия Томского университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329, № 3. С. 6–15.
2. Abubakr A., Gojar A.A., Balkhi M.H., Malik R. Macro-invertebrates (Annelida; Oligochaeta) as bio-Indicator of Samara Journal of Science. 2020. Vol. 9, iss. 4

water quality under temperate climatic conditions // International Journal of Pure & Applied Bioscience. 2018. Vol. 6, iss. 1. P. 726–737.

3. Захаров А.Б., Лоскутова О.А., Фефилова Е.Б., Хохлова Л.Г., Шубин Ю.П. Сообщества гидробионтов нефтезагрязненных акваторий бассейна реки Печора. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2011. 268 с.

4. Баянов Н.Г. ООПТ и совершенствование мониторинга водных экосистем в России // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 4 (26). С. 82–88.

5. Демшин Н.И. Олигохеты и пиявки как промежуточные хозяева гельминтов. Новосибирск: Изд-во: «Наука», 1975. 190 с.

6. Faisal M. High prevalence of buccal ulcerations in largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Centrarchidae) from Michigan inland lakes associated with *Myxobolus lugubris* Leidy 1851 (Annelida: Hirudinea) // Parasite. 2011. Vol. 18, № 1. P. 79–84.

7. Trivalairat P., Chiangkul K., Purivirojkul W. *Placobdelloides sirikanthanae* sp. nov., a new species of glos-siphoniid leech and a parasite of turtles from lower southern Thailand (Hirudinea, Rhynchobdellida) // ZooKeys. 2019. Vol. 882. P. 1–24.

8. Koperski P. Taxonomic, phylogenetic and functional diversity of leeches (Hirudinea) and their suitability in biological assessment of environmental quality // Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. 2017. Vol. 418. P. 49.

9. Cortelezzi A., Gullo B.S., Simoy M.V., Cepeda R.E., Marinelli C.B., Capitulo A.R., Berkunsky Assessing the sensitivity of leeches as indicators of water quality // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 624. P. 1244–1249.

10. Куликов Е.В. Возможные последствия для рыбного хозяйства на Иртыше увеличения забора воды в КНР // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2007. Вып. 4 (38). С. 55–58.

11. Сарсембенова О.Ж. Уровень загрязнения поверхностных вод в районах влияния городов и промышленных центров // Научный альманах. 2015. № 9 (11). С. 809–812.

12. Плащев А.В., Чекмараев В.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометиздат. 1967. 287 с.

13. Бурлибаев М.Ж. и др. Динамика режима гидрохимических токсикологических параметров в трансграничной реке Иртыш и характер их трансформации // Водное хозяйство Казахстана. 2012. № 12 (50). С. 9–20.

14. Бурлибаев М.Ж. и др. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. Алматы: Изд-во «Каганат», 2014. Т. 1. 744 с.

15. Лукин Е.И. Пиявки пресных и солоноватых водоемов (фауна пиявок СССР). Л.: Наука, 1976. 284 с.

16. Neseemann H. Clitellata, Branchiobdellata, Acanthobdellata, Hirudinea // Susswasserfauna von Mitteleuropa. Heidelberg / eds.: J. Schwoebel, P. Zwig. Berlin: Spectrum Akademischer Verlag, 1999. Vol. 6 (2). 178 p.

17. Oksanen J., Kindt R., Legendre P. et al. The vegan package // Community Ecology Package. 2007. Vol. 10. P. 631–637.

18. Oksanen J. Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial // R Package Version. 2011. Vol. 1 (7). P. 11–12.

19. Hollander M., Wolfe D.A. Nonparametric statistical methods. New York: John Wiley & Sons, 1973. 528 p.

20. Warnes et al. Gplots: Various R Programming tools for plotting data. R package version 2.17.0 [Internet] // <http://CRAN.R-project.org/package=gplots>.

Статья публикуется при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-29-05097 офу_м.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
Федорова Людмила Ивановна , кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-образовательного центра Института естественных и технических наук; Сургутский государственный университет (г. Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Российская Федерация). E-mail: ludiko@list.ru.	Fedorova Lyudmila Ivanovna , candidate of biological sciences, senior researcher of Scientific and Educational Center of Natural and Technical Sciences Institute; Surgut State University (Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russian Federation). E-mail: ludiko@list.ru.

Для цитирования:

Федорова Л.И. Влияние экологических факторов на особенности распределения пиявок в среднем течении реки Иртыш // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 4. С. 159–164. DOI: 10.17816/snv202094124.