

[18] Ali H., Khan E., Nasir M. J. Bioaccumulation of some potentially toxic heavy metals in freshwater fish of river Shah Alam, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan //Pakistan J. Zool. – 2020. – Т. 52. – №. 2. – С. 603-608.

[19] Evenkova, T., Zelenkovskiy, P., Dubrova, S., Podlipskiy, I., Hohryakov, V. (2023). The Content of Heavy Metals in the Muscle Tissue and Liver of Some Species of Fish from the Lakes of the “Smolensk Lakeland” National Park. In: Beskopylny, A., Shamtsyan, M., Artiukh, V. (eds) XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. INTERAGROMASH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 575. Springer

[20] Garnero PL, Monferran MV, González GA, Griboff J, de Los Ángeles BM. Assessment of exposure to metals, As and Se in water and sediment of a freshwater reservoir and their bioaccumulation in fish species of different feeding and habitat preferences. //Ecotoxicol Environ Saf. - 2018 – Т.15 – С. 492-501.

[21] Jia Y. et al. Trace elements in four freshwater fish from a mine-impacted river: spatial distribution, species-specific accumulation, and risk assessment //Environmental Science and Pollution Research. – 2018. – Т. 25. – С. 8861-8870.

[22] Kovacik A. et al. Trace metals in the freshwater fish *Cyprinus carpio*: effect to serum biochemistry and oxidative status markers //Biological trace element research. – 2019. – Т. 188. – С. 494-507.

[23] Lenhardt M. et al. Concentrations of 17 elements in muscle, gills, liver and gonads of five economically important fish species from the Danube River //Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. – 2012. – №. 407. – С. 02.

[24] Łuczyńska J., Paszczyk B., Łuczyński M. J. Fish as a bioindicator of heavy metals pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk assessment for consumer's health //Ecotoxicology and environmental safety. – 2018. – Т. 153. – С. 60-67.

[25] Łuczyńska, J.; Paszczyk, B. Health Risk Assessment of Heavy Metals and Lipid Quality Indexes in Freshwater Fish from Lakes of Warmia and Mazury Region, Poland. Int. J. Environ. Res. Public Health 2019, 16, 3780.

[26] Moiseenko T. I., Gashkina N. A. Distribution and bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fish: Influence of the aquatic environment and climate //Environmental Research Letters. – 2020. – Т. 15. – №. 11. – С. 115013.

[27] Rajeshkumar S. et al. Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China //Chemosphere. – 2018. – Т. 191. – С. 626-638.

[28] Subotić, S., Višnjić-Jeftić, Ž., Spasić, S. et al. Concentrations of 18 Elements in Muscle, Liver, Gills, and Gonads of Sichel (*Pelecus cultratus*), Ruffe (*Gymnocephalus cernua*), and European Perch (*Perca fluviatilis*) in the Danube River near Belgrade (Serbia). *Water Air Soil Pollut* **226**, 287 (2015).

[29] Yin J. et al. The distribution and risk assessment of heavy metals in water, sediments, and fish of Chaohu Lake, China //Environmental earth sciences. – 2018. – Т. 77. – С. 1-12.

УДК 504.064.36

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ МАКРОКОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ВОД ОЗЕРА ОЗЕРЯВКИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СЕБЕЖСКИЙ»

THE FIRST RESULTS OF THE MACRO-COMPONENT COMPOSITION RESEARCH OF THE WATERS OF LAKE OZYAVKI, NATIONAL PARK "SEBEZHISKY"

Богданов Тимофей Валерьевич¹, Хохряков Владимир Рафаэльевич²
Bogdanov Timofey Valer'evich, Khokhryakov Vladimir Rafael'evich
г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Государственный университет¹
Saint Petersburg, Saint Petersburg State University

г. Себеж, Национальный парк «Себежский»²
Sebez, Sebezhsy National Park
st076100@student.spbu.ru¹, khokhryakovy@yandex.ru²

Научный руководитель: к.г.-м.н. Зеленковский Павел Сергеевич
Research advisor: PhD Zelenkovskiy Pavel Sergeevich

Аннотация: изучение макрокомпонентного состава вод – один из основных компонентов комплексного экологического мониторинга, производимого в рамках первичного изучения компонентов природной среды национального парка «Себежский». В работе приведены данные о пространственном, глубинном и компонентном распределении макрокомпонентов вод озера Озерявки, которое является частью гидрологической сети парка. В дальнейшем материалы будут использованы как основа для изучения распределения тяжелых металлов в системе вода-донные отложения Озерявок.

Abstract: the study of the macro-component composition of waters is one of the main steps of integrated environmental monitoring carried out as part of the primary study of the components of the natural environment of the Sebezhsy National Park. Research presents data on the spatial, deep and component distribution of macro-component in waters of Lake Ozyavki, which is part of the hydrological network of the park. In the future, the materials will be used as a basis for studying the distribution of heavy metals in the system of water-bottom sediments of Ozeryavki.

Ключевые слова: национальный парк, мониторинг, поверхностная вода, макрокомпоненты, минерализация

Key words: national park, monitoring, superficial water, macro components, mineralization

Введение. Национальный парк «Себежский» - одна из многочисленных особо-охраняемых природных территорий, находящихся на территории России. Он находится на юге Псковской области и примыкает к государственной границе с Беларусью и Латвией. В границах парка охраняются уникальные природно-территориальные комплексы псковского поозерья.

В период с 2021 года группой студентов Санкт-Петербургского Государственного университета проводятся работы по первичной оценке и мониторингу состояния озер национального парка. Они включают в себя изучение состояния донных отложений, которые являются естественной аккумулярующей средой. В частности, проводится изучение содержания в них тяжелых металлов [3]. Помимо этого, проводится мониторинг почвенного и снежного покрова для оценки атмосферного переноса загрязняющих веществ.

В данной же работе впервые будет проведена первичная оценка состава поверхностной воды одного из озер Себежского национального парка [6]. В качестве объекта исследования было выбрано озеро Озерявки, являющееся транзитным пунктом в гидрологической сети озер парка.

Актуальность. Ранее подобные работы на территории национального парка «Себежский» не проводились. Изучение макрокомпонентного состава, а также минерализации природных вод позволит сделать выводы о характере природных вод, что в дальнейшем позволит сделать выводы о характере миграции тех или иных загрязняющих веществ как в водной среде, так и в системе вода-донные отложения.

Помимо этого, воды из озера Озерявки попадают в озеро Нечерица, а его воды в свою очередь сбрасываются в озеро Лисно, находящееся на территории Республики Беларусь (рисунок 1а). Наличие данной гидрологической сети, проходящей через государственную границу соседствующих стран, позволяет говорить о возможности трансграничного переноса поллютантов в водной среде. В контексте современных научных тенденций, изучение подобного процесса представляет крайне высокий научный интерес.

Цель работы: оценка макрокомпонентного состава вод озера Озерявки и их характеристика на основании полученных данных.

Физико-географическая характеристика района работ. Ландшафты псковского поозерья – уникальные комплексы, на которых расположены переувлажненные территории на типичных ледниковых отложениях. Гумидный климат местности обусловлен большим количеством осадков, выпадающих в течение года, суммарно превышающих испарение. Рельеф местности в целом был сформирован после окончания Валдайского оледенения – около 11 тыс. лет назад. Подстилающие породы представляют собой супеси, суглинки и глины – типичные для ледниковых отложений.

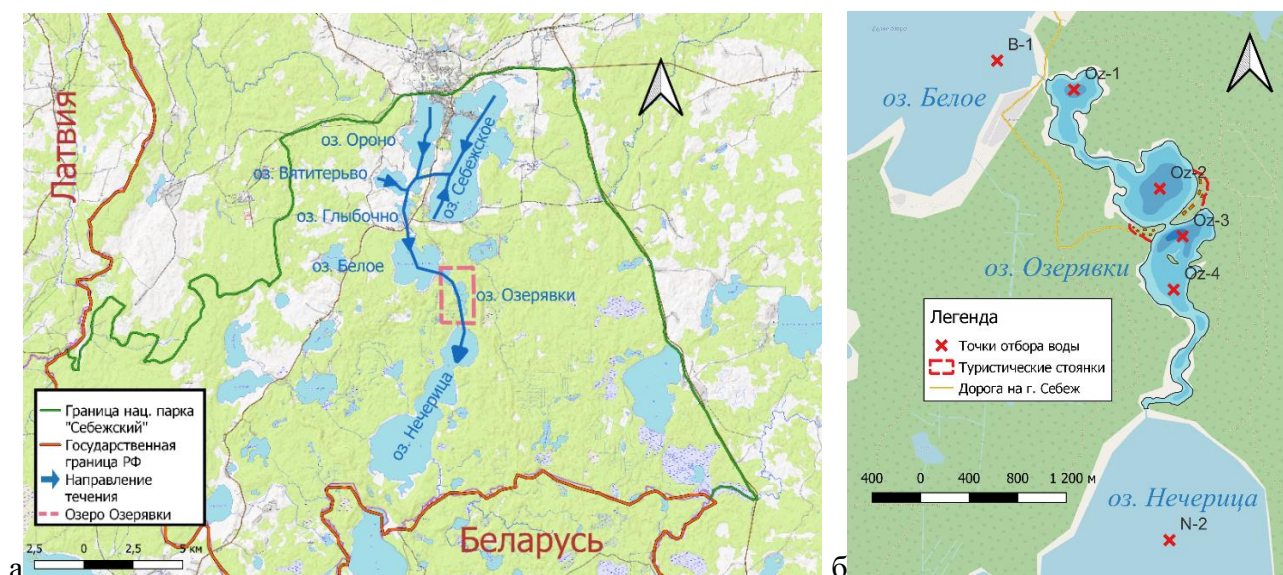


Рисунок 1. Картограмма гидрологической сети Себежского национального парка (а) и картограмма точек отбора проб (б), составлено автором

Как уже упоминалось, в роли объекта исследования выступило озеро Озерявки – одно из озер гидрологической сети Себежского национального парка. В нее входят наиболее крупные озера, соединенные между собой протоками и единым направлением течения (рисунок 1). Озерявки являются транзитным пунктом в данной сети: через него проходят воды из более глубокого озера Белое (а также других, озер, расположенных выше по гидрологической сети, которые в дальнейшем сбрасываются в озеро Нечерица. Также стоит учитывать, что в озеро Белое воды поступают из прочих озер парка, находящихся вблизи селитебных зон (г. Себеж и более мелкие посёлки). Вследствие этого, нельзя исключать возможность антропогенного влияния на систему озер. Данное влияние неоднократно подтверждалось при изучении донных отложений озер.

В связи с этим, на состав вод озера Озерявки могут влиять несколько факторов:

- Принос компонентов вместе с водами из других озер парка;
- Антропогенный фактор;
- Подстилающие ледниковые отложения.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели на озере Озерявки были заложены 4 точки отбора проб, а также по одной точке на озерах Белое и Нечерица (рисунок 1б). Подобная сеть разработана с целью характеристики вод исследуемого озера и сравнения полученных значений с водоемом-источником вод и принимающим водоемом [4,5]. На каждой точке отбора проводился отбор двух проб: из приповерхностного и придонного слоя. Для отбора придонной пробы использовался батометр Молчанова серии ГР-18. На каждой точке также фиксировались окислительно-восстановительные условия и удельная электропроводность (рН, Eh), а также глубина отбора пробы. Всего было отобрано 12 проб природных вод на 6 точках с различных озер.

На лабораторном этапе определялись такие показатели, как расчетная минерализация и жесткость, а также содержание основных макрокомпонентов: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ . Выбор для анализа HCO_3^- , вместо карбонатного CO_3^{2-} обусловлен тем, что во всех пробах показатель рН не превысил 7,9 ед. рН. Расчет содержания HCO_3^- , Cl^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} производился при помощи титрования в соответствии с методическими указаниями. Расчет Na^+ производился расчетным методом. Расчет SO_4^{2-} производился на фотоколориметре посредством фиксации сульфат-ионов хлоридом бария.

Анализ результатов. В первую очередь обратимся к показателю общей минерализации вод озера. Определенные расчетным методом данные характеризуются однородностью, интервал значений составил 222,1 – 269,0 мг/л (рисунок 2а). Для всех точек наблюдается закономерность в незначительном повышении значений минерализации в приповерхностных слоях относительно придонных, в среднем на 4-5 мг/л. Исключением является точка 4 на озере Озерявки, в которой показатель минерализации в пробе из придонного слоя оказался значительно больше относительно приповерхностного слоя (269,0 – 227,7 мг/л соответственно). Средний показатель минерализации составил 231,3 мг/л, что в соответствии с классификацией [2] позволяет отнести их к пресным, близким к ультрапресным.

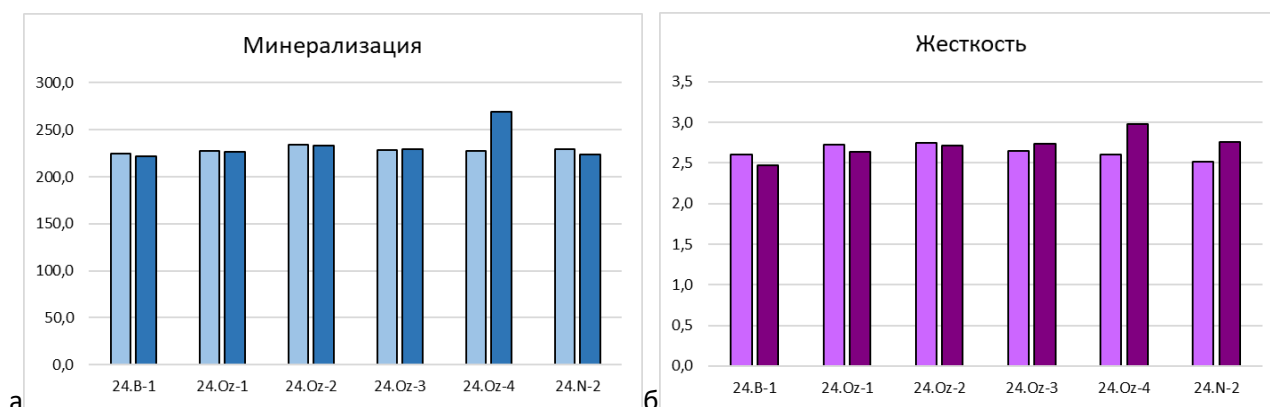


Рисунок 2. Показатель минерализации (а) и жесткости (б) в пробах воды (здесь и далее: светлый тон – поверхностный слой, темный – придонный), составлено автором

Обратимся к данным по жесткости воды (рисунок 2б). Её динамика также практически не изменяется в различных пробах на всех озерах, а также по глубине. Диапазон значений от 2,5 – 3,0 мг-экв/л, среднее 2,7 м-экв/л. Наибольшее значение вновь достигается в придонном слое на точке 4 в Озерявках. В соответствии с классификацией [1], воды озера мягкие.

Рассмотрим анионную составляющую в водах озер, для этого обратимся к рисунку 3а, который представляет собой диаграмму анионного состава на каждой точке пробоотбора. На нем значительно выделяется гидрокарбонатная составляющая (HCO_3^-). Именно этот анион наиболее четко характеризует воды, поскольку при общей минерализации в среднем 231 мг/л, гидрокарбонаты составляют 158 мг/л (диапазон значений от 150,1 до 187,3 мг/л), то есть порядка 2/3 от всех примесных составляющих. Содержание же анионов Cl^- и SO_4^{2-} значительно меньше относительно HCO_3^- (среднее для них: 9,4 и 3,5 мг/л соответственно), что по классификации Алекина [1] позволяет отнести воды к гидрокарбонатным.

Вместе с этим, характер распределения анионов в пробах характеризуется как однородный, отсутствуют значительные различия как в пробах из Озерявок, так и в других озерах. Незначительно выделяется концентрация HCO_3^- в пробе из придонного слоя на точке 4 из Озерявок: 187,3 мг/л при том, что во всех прочих его наличие не превышает 160 мг/кг.

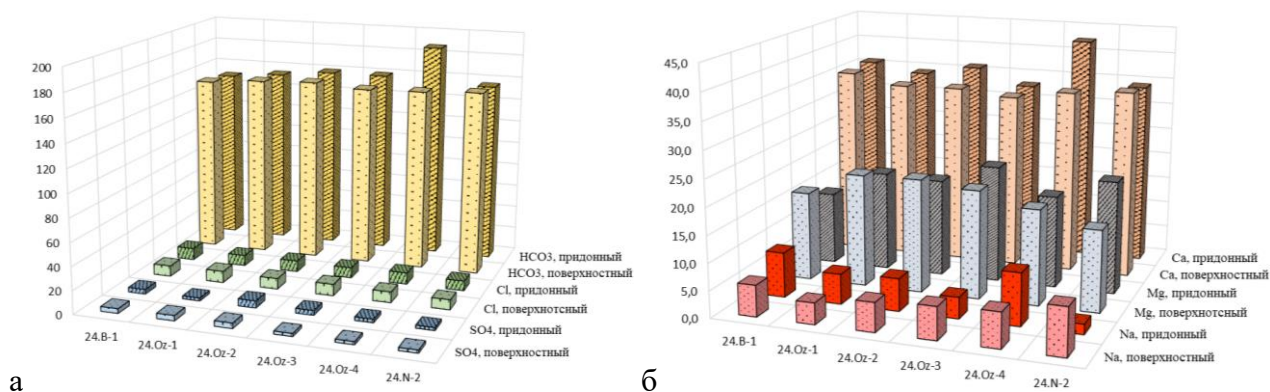


Рисунок 3. Результаты анализа проб на анионный (а) и катионный (б) составлено автором

На рисунке 3б представлена диаграмма, отражающая катионный состав вод по основным ионам (Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}). Заметно, что в катионном составе значительно преобладает Ca^{+2} (диапазон значений от 32,8 до 42,4 мг/л), несколько меньше Mg^{+2} (13,6 – 21,2 мг/л) и наименее значимый – Na^+ (1,9 – 9,6 мг/л) во всех пробах. Таким образом, исследуемые воды можно отнести к кальций-гидрокарбонатному типу, что характерно для пресноводных водоемов умеренных широт. По Алекину [1], воды можно отнести к I группе гидрокарбонатных вод, поскольку для них справедливо соотношение: $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$.

Помимо этого, содержание катиона Ca^{+2} повышается относительно других проб в точке 4 на Озерявках, а именно в слое придонной воды наблюдается концентрация 42,4 мг/л. Содержание Na^+ в этой пробе также максимальное в общей выборке, распределение Mg^{+2} при этом не имеет четких закономерностей распределения.

Дискуссия. В результате анализа минерализации и жесткости вод озера Озерявки, а также соседствующих с ним Белого и Нечерицы предоставляется возможным отнести их к типичным пресным мягким водам озер европейской части России. Таким образом, воды не изменяются вследствие воздействия сторонних факторов, способных значительно повысить показатель минерализации вод: отсутствует значимое воздействие в виде антропогенных сбросов, а также естественных минерализованных источников.

Вместе с этим, показатель минерализации незначительно повышается в точке Oz-4, а именно в придонном слое воды. Это превышение происходит вследствие наличия там большего количества ионов HCO_3^- , Ca^{+2} и Mg^{+2} . Данная точка расположена в 3 плесе озера вблизи протоки, соединяющей Озерявки и Нечерицу (см. рисунок 1б) и характеризуется наименьшей глубиной относительно прочих точек отбора проб (2,5 м).

На сегодняшний день сделать однозначные выводы касательно причин превышения показателя минерализации относительно других проб крайне затруднительно, поскольку отсутствуют точные данные о подстилающих отложения породах, а также о гидрологических характеристиках данного участка озера. Это может быть связано с эвтрофикацией вблизи точки отбора проб. В летний период она характеризуется наличием большого количества гидрофитов и водорослей вследствие малой глубины и относительно малой скорости течения.

Заключение. Полученные данные необходимы для дальнейшего изучения системы вода-донные отложения в контексте миграции в ней тяжелых металлов. Изучение макрокомпонентного состава является промежуточной задачей при мониторинге состояния озера. Благодаря данному исследованию предоставляется возможным оценивать характер миграции некоторых поллютантов, поскольку именно описанные в данной работе катионы, а также рН-условия являются основными факторами, влияющими на их перемещение.

Воды озера являются мягкими и пресными. По химическому составу – кальций-гидрокарбонатные, исследуемые параметры не превышают установленные значения ПДК. Эти условия позволяют определять воды как типичные поверхностные воды умеренных широт.

В общей выборке проб только в пробе Oz-4 из придонного слоя обнаруживается незначительное превышение некоторых из исследуемых показателей относительно остальных проб. В связи с этим возникает необходимость в дополнительных исследованиях этого участка озера с применением дополнительных методов анализа (геохимических и геофизических).

Рассматривая полученные результаты в контексте изменения показателей по ходу течения можно сказать, что на всем исследуемом участке воды однородны по химическому составу. Таким образом, воды из озера Белое полностью соответствуют водам, протекающим через Озерявки и попадающим в Нечерицу. На исследуемом участке отсутствуют источники поступления веществ, способных повлиять на характеристики минерализации водоема.

В связи с перечисленными характеристиками возникает вопрос об отнесении вод озер к фоновым для территории псковского поозерья. Однако для этого необходимо продолжить исследование озер, расположенных выше по гидрологической сети на предмет потенциальных источников воздействия на них. В случае, если таких источников не обнаружится, воды в Озерявках возможно будет отнести к фоновым. Упомянутые работы планируются к проведению в летний период 2024 года.

Список литературы:

[1]. Алекин О.А. Основы гидрохимии (учебник) // О.А. Алекин. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1953. 296 с.

[2]. Никаноров А.М. Гидрохимия (учебник) // А.М. Никаноров. Второе издание, перераб. и доп.. Гидрометиздат, Санкт-Петербург. 2001. 444 с.

[3]. Алексеева, И.Е., Бессонова, А.М., Богданов, Т.В., Малкова, Ю.Л. Закономерности пространственного распространения тяжелых металлов в донных осадках некоторых озер национального парка «Себежский» // Сборник трудов XVI международной практической конференции «Система управления экологической безопасностью». УРФУ, Екатеринбург. 2022. С. 251-256.

[4]. Гузева А.В., Попова Е.А., Зеленковский П.С., Подлипский И.И., Хохряков В.Р. Эколого-геохимический мониторинг состояния оз. Сапшо и пос. Пржевальское (национальный парк «Смоленское Поозерье») // В книге: Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северо-Запада России. Материалы XXVII молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца и академика РАН Ф.П. Митрофанова. 2016. С. 197-201.

[5]. Подлипский И.И., Зеленковский П.С., Кононова Л.М., Хохряков В.Р. Эколого-геохимическая оценка состояния компонентов природной среды особо-охраняемых природных территорий на примере национального парка «Смоленское Поозерье» // В сборнике: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ. Материалы семнадцатой международной молодежной научной конференции. Оргкомитет конференции: Чистяков К.В., Куриленко В.В., Трофимов В.Т., Изосимова О.С., Беляев. А.М., Подлипский И.И., Зеленковский П.С., 2017. С. 59-67.

[6]. Тиличко Д.Ю., Подлипский И.И., Зеленковский П.С. Анализ состояния территории водосбора озера Дго национального парка «Смоленское Поозерье» // В сборнике: География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам Всероссийской, с международным участием, научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения В.Л. Комарова, 135-летию со дня рождения П.В. Гуревича, 90 -летию со дня рождения В.С. Жекулина. Ответственные редакторы С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. 2019. С. 184-187.