

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ В СИСТЕМЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ПРАВОВЫХ АСПЕКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАВОНАРУШАЕМОСТИ

А.П. Суходолов^{1, 2}, А.П. Федотов^{1, 2}, М.М. Макаров², П.Н. Аношко², Е.В. Губий³,
В.И. Зоркальцев², П.Г. Сорокина^{1, 2}, И.В. Мокрый³, А.В. Лебедева¹

¹ Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация

² Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация

³ Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация

Информация о статье

Дата поступления

18 августа 2019 г.

Дата принятия в печать

7 октября 2019 г.

Дата онлайн-размещения

31 октября 2019 г.

Ключевые слова

Байкал; математическая модель оценки численности популяции; омуль; криминализация; правовое регулирование

Финансирование

Издается в рамках государственного задания № 0279-2019-0003 при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-07-00322) и правительства Иркутской области (грант № 17-410-380003)

Аннотация. В настоящее время особую актуальность приобрел вопрос правового регулирования добычи одного из брендовых видов биоресурсов Байкальского региона — байкальского омуля. В статье отражены административные и уголовные аспекты его охраны и особенности криминологической характеристики незаконной добычи омуля с учетом введенного в 2017 г. запрета на его вылов, показаны эколого-правовые и социально-экономические аспекты данной проблемы, предложена математическая модель оценки численности байкальского омуля. Рост количества криминальных проявлений в сфере использования водных ресурсов Байкала лишает науку возможности объективного определения численности омуля в озере с применением общепринятых биостатистических методов. При этом экологическая правонарушаемость и ее региональная специфика обуславливают необходимость дальнейшей разработки комплексных, системных подходов к нейтрализации вызывающих ее криминогенно значимых процессов. Превентивные меры по обеспечению сохранности озера Байкал как уникальной природной зоны наряду с различными природоохранными мероприятиями должны реализовываться с использованием целого комплекса охранительных действий. Авторы, анализируя эффективность существующих правовых механизмов в сфере противодействия незаконному воднодобывающему промыслу и необходимость создания действенных механизмов для охраны и воспроизводства рыбных запасов Байкала, предлагают описание исходных параметров и уравнений для формирования математической модели анализа и прогнозирования динамики численности омуля в озере Байкал. Приводится упрощенный вариант такой модели и на конкретных примерах иллюстрируются возможности ее применения для оценки параметров и изучения динамики численности популяции при возмущающих воздействиях. Дается краткая характеристика направлений дальнейшего развития реализованной к настоящему времени упрощенной модели. Научные результаты, полученные в том числе при помощи математического инструментария, следует использовать при формировании эффективной, четкой, соответствующей потребностям общества нормативно-правовой базы управления биоресурсами Байкала с возрастающим ее антикриминогенным потенциалом.

MATHEMATICAL MODELING OF ASSESSING THE NUMBER OF BAIKAL OMUL IN THE SYSTEM OF SOCIO-ECONOMIC AND LEGAL ASPECTS OF ENVIRONMENTAL LAW VIOLATIONS

Alexander P. Sukhodolov^{1, 2}, Andrey P. Fedotov^{1, 2}, Mikhail M. Makarov², Pavel N. Anoshko²,
Elena V. Gubiy³, Valeriy I. Zorkaltsev², Polina G. Sorokina^{1, 2}, Igor V. Mokryy³, Alina V. Lebedeva¹

¹ Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation

² Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation

³ Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation

Article info

Received

2019 August 18

Accepted

2019 October 7

Abstract. The issue of legal regulation of fishing one of the brand species of Baikal Region's bio-resources — Baikal omul — is especially urgent at present. The paper reflects administrative and criminal aspects of its protection as well as criminological specifics of illegal fishing of omul in light of the ban on fishing introduced in 2017; it highlights the environmental-legal and socio-economic aspects of this problem and

Available online
2019 October 31

Keywords

Baikal; mathematical model of assessing the population size; omul; criminalization; legal regulation

Acknowledgements

The paper is written within State Task № 0279-2019-0003 and financially supported by Russian Fund for Basic Research (Grant № 19-07-00322), and the Government of Irkutsk Region (Grant № 17-410-380003)

presents a mathematical model of assessing the number of Baikal omul. The growth of criminal incidents in the sphere of using water resources of Baikal makes it impossible for scientists to objectively assess the number of omul in the lake using traditional bio-statistics methods. Besides, environmental law violations, and their regional specifics, make it necessary to continue developing complex systemic approaches to counteracting criminogenic processes. Prevention measures aimed at preserving Lake Baikal as a unique nature zone, together with various nature protection measures, should be implemented with the use of a whole complex of nature protection actions. The authors analyze the effectiveness of the existing legal mechanisms in the sphere of counteracting illegal fishing, as well as the necessity of establishing working mechanisms for the protection and reproduction of fish resources of Baikal, and present the description of initial parameters and equations to form a mathematical model of analyzing and predicting the dynamics of the number of omul in Lake Baikal. The authors also present a simplified version of such a model and use specific examples to illustrate the possibility of using it to assess the parameters and study the dynamics of the number of omul population during disturbing influences. They offer a brief description of the possibilities for the further development of this simplified model, which has at present been implemented. The scientific basis obtained, among other things, with the help of mathematical instruments should be viewed as the principles for forming an effective, clear, and needs-oriented normative legal basis of managing the bio-resources of Baikal with a growing anti-criminogenic potential.

Механизм детерминации экологических правонарушений, среди которых незаконная добыча водных биологических ресурсов составляет не менее трети всех ежегодно совершаемых такого рода преступлений, во многом специфичен. Вред, причиняемый правонарушающим поведением в данной сфере, зачастую недооценивается, не в полной мере учитывается масштабность ущерба и последствия тех или иных запретительных мер. Это относится не только к посягательствам на водные биологические ресурсы, биологическое разнообразие, но и к нарушению экологических интересов общества и экономических интересов государства.

Озеро Байкал, расположенное в южной части Восточной Сибири, почти в центре Азии, является национальным достоянием России и участком всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Сохранение Байкала как уникального природного объекта, в котором содержится 20 % чистой пресной воды планеты, с его неповторимыми ландшафтами и биологическим разнообразием флоры и фауны [1; 2] является приоритетным в природоохранной деятельности РФ.

Экологическая правонарушаемость в пределах уникальной Байкальской природной территории, а также ее региональная специфика обуславливают необходимость дальнейшей разработки комплексных, системных подходов к нейтрализации вызывающих ее криминогенно значимых процессов. Превентивные меры по обеспечению сохранности уникальной природной зоны озера Байкал наряду с различными природоохранными мероприятиями бази-

руются на использовании целого комплекса охранительных действий. Среди них несомненно значимую роль имеют криминологические меры, в том числе по правовому обеспечению и сопровождению такой деятельности. Постоянный мониторинг актуальных процессов и явлений криминогенного характера, приводящих к относительно массовому правонарушающему поведению, связанному с незаконным выловом байкальского омуля, позволяет выработать конкретные адресные меры противодействия ему.

Современные механизмы правового регулирования рыболовства, охраны и воспроизводства водных биоресурсов как наиболее уязвимого компонента окружающей среды поддерживаются как на международном, так и на национальном уровне. Эколого-правовые механизмы охраны озера Байкал включают в себя нормы международного права и основополагающие государственные документы, среди которых ФЗ «Об охране озера Байкал» — первый и единственный федеральный экологический закон, направленный на сохранение отдельного природного объекта, а также ряд правительственных постановлений и десятки отраслевых документов, способствующих решению широкого круга проблем, связанных с сохранением уникальной экосистемы Байкала, устойчивым развитием Байкальской природной территории, своевременным реагированием на возникающие экологические угрозы, координацией действий органов исполнительной власти, осуществляющих контроль и надзор за хозяйственной деятельностью в бассейне озера.

Государственное регулирование отношений в данной сфере нацелено прежде всего на охрану рыбных запасов и их рациональное использование. Основы такого регулирования установлены ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ. При этом реализуется принцип приоритета сохранения ценных видов водных биоресурсов, который актуален и в отношении Байкальской природной территории, где к таким относится знаменитый байкальский омуль. В соответствии с этим основополагающим принципом рыболовство в отношении подобных ценных промысловых видов может ограничиваться или запрещаться.

Особенности охраны и вылова эндемичных видов животных и растений на Байкале специально определены ФЗ «Об охране озера Байкал». В частности, в целях охраны байкальского омуля обозначен общий допустимый улов (ОДУ), сроки и перечень орудий вылова. При этом пределы ОДУ в соответствии с постановлением Правительства РФ «Об особенностях охраны, вылова (добычи) эндемичных видов водных животных и сбора эндемичных видов водных растений озера Байкал» от 28 января 2002 г. № 67 устанавливаются и утверждаются ежегодно.

В последние годы в СМИ часто говорилось об угрозе сокращения водных биологических ресурсов Байкала, в том числе о падении численности омулевого стада озера. Указывалось, что стабильно снижается объем рыбы, выловленной иркутскими рыбозаготовительными предприятиями. При этом «размер выделенной региону квоты на ловлю рыбы в промышленных масштабах составляет 300–350 т в год, но уже несколько лет этот объем осваивается лишь на 60 %»¹.

Директор Байкальского филиала Госрыбцентра Владимир Петерфельд проинформировал, что «популяция омуля постоянно сокращается с 2008 г., положение критическое. Так, в 2008 г. биомасса омуля впервые составила менее 20 тыс. т. К 2012–2013 гг. показатель уменьшился до 15,4–15,8 тыс. т, к 2016 г. — до 15,1 тыс. т. Количество заходящих в реки рыбопроизводителей также сокращается: в 2015 г. показатель составил 2,1 млн особей, что существенно ниже среднескользящих значений (4,3 млн особей)» [3]. Во всех публикациях того периода единодушно предлагалось с 2017 г.

¹ В Байкале сократилась численность омуля. URL: <https://www.irk.ru/news/20140708/omul>.

ввести ограничение на лов байкальского омуля для сохранения его популяции.

Таким образом, в целях предотвращения сокращения популяции байкальского эндемика Минсельхоз России приказом от 29 августа 2017 г. № 450 внес изменения в правила рыболовства для Байкальского рыбохозяйственного бассейна. И уже с 1 октября 2017 г. установлены ограничения на вылов байкальского омуля, в частности запрещен его промышленный вылов в озере Байкал и впадающих в него реках, а также любительский и спортивный лов, за исключением добычи омуля с ледового покрова озера Байкал с использованием бормашовой уды.

Запрет затронул и лиц, относящихся к коренным малочисленным народам (КМН) Севера, Сибири и Дальнего Востока РФ, а также их общины, осуществляющие традиционное рыболовство. В соответствии со ст. 40 Правил рыболовства для Байкальского рыбохозяйственного бассейна им запрещено осуществлять добычу омуля для удовлетворения личных нужд на маршрутах кочевий, временных стоянках и промежуточных базах в местах традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности с превышением объемов распределенных им квот добычи. Приказом Федерального агентства по рыболовству «О распределении общих допустимых уловов водных биологических ресурсов во внутренних водах Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации, применительно к видам квот их добычи (вылова) на 2019 год» от 4 декабря 2018 г. № 713 установлена квота добычи байкальского омуля для КМН в целях обеспечения традиционного образа жизни в размере 55 т.

Запрещен вылов омуля в реках, впадающих в Байкал, а также на расстоянии менее 0,5 км вправо, влево и вглубь от устьев этих рек с 15 августа по 31 октября (п. «в» ст. 43 Правил рыболовства).

Следует отметить, что в истории природоохранной политики озера подобный запрет уже имел место. Так, в 1960-х гг. отмечалось резкое уменьшение уловов омуля, вызванное превышением норм вылова в 2–3 раза, осуществлением ловли варварскими способами, в частности путем перегораживания русла нерестовых рек сетевыми ловушками. На сокращение омулевого стада повлияло и поднятие уровня воды в Байкале в результате строительства Иркутской ГЭС. Такая ситуация с омулевым стадом при-

вела к введению в 1969 г. запрета на промышленный вылов байкальского омуля. Приказом Минрыбхоза СССР «Об утверждении Правил рыболовства в бассейне озера Байкал и других рыбохозяйственных водоемах Бурятской АССР, Иркутской и Читинской областей» от 1 декабря 1969 г. № 401 был введен запрет на лов омуля повсеместно, за исключением лова для целей искусственного рыборазведения и научных исследований, сохранявший свое действие до особого распоряжения².

Данный запрет существенно снизил объем вылова омуля [4], увеличил количество заходящих на нерест производителей и фонд икры, откладываемой омулем на естественных нерестилищах, а также собираемой для целей заводского рыборазведения. Однако одни ограничения не способствовали быстрому восстановлению численности омуля, поэтому были предусмотрены меры, направленные на повышение рыбопродуктивности бассейна озера Байкал. Ряд принятых постановлений ЦК КПСС и Совета министров СССР определял необходимость строительства и реконструкции рыбоводных заводов для искусственного воспроизводства.

Необходимо отметить и негативное последствие запретительных мер в тот период, заключавшееся, по оценкам некоторых экспертов, в росте браконьерства.

Ретроспективный анализ проводится с целью поиска ответов на некоторые вопросы: во-первых, насколько введение изменений в Правила рыболовства позволяет создать эффективную базу для управления биоресурсами Байкала и сохранить популяцию омуля, во-вторых, насколько введение ограничений может воспроизвести ситуацию с увеличением незаконной добычи омуля, сложившуюся в 1960–1970-х гг.?

На официальном сайте Байкальской межрегиональной природоохранной прокуратуры³ можно встретить информацию об установленных в ходе проверок нарушениях правил, регламентирующих рыболовство, а также о фактах незаконного приобретения омуля, его хранения и реализации, осуществления его ловли, в том

числе с использованием запрещенных орудий лова. Проверки мест реализации рыбной продукции, проведенные в апреле — мае 2018 г. природоохранной прокуратурой, показали, что реализуемый в Байкальском регионе омуль добыт браконьерским путем⁴.

Нормами действующего законодательства за незаконный вылов водных биологических ресурсов предусмотрена как административная (ч. 2 ст. 8.37 КоАП РФ «Нарушение правил, регламентирующих рыболовство»), так и уголовная (согласно ст. 256 УК РФ «Незаконная добыча (вылов) водных биологических ресурсов») ответственность. Экологические правонарушения и преступления в части использования и охраны рыбных ресурсов влекут негативные последствия для экосистемы Байкала, что выражается в сокращении особо ценных видов, лишает науку возможности проводить точный учет биомассы омуля, прогнозировать динамику популяции и осуществлять мероприятия по ее сохранению.

Данные, полученные в результате деятельности Ангаро-Байкальского территориального управления Федерального агентства по рыболовству совместно с органами МВД, ГИМС МЧС России и природоохранными органами (табл. 1), свидетельствуют о некоторой тенденции снижения числа зарегистрированных нарушений Правил рыболовства и соблюдении иных требований законодательства в области рыболовства и сохранения водных биологических ресурсов.

Сопоставление официальных показателей числа выявленных в течение последних пяти лет (2014–2018 гг.) экологических правонарушений с размерами причиненного вреда, определяемого по таким установленным критериям, как количество изъятой рыбы и размер предъявленного иска о возмещении, служит косвенным доказательством высокого уровня латентности правонарушений в этой сфере. Экологические преступления традиционно относятся к высоколатентным видам, при этом незаконный вылов водных биоресурсов является одним из самых распространенных, в том числе в региональном масштабе. Это дает основание усомниться в действенности существующего запрета на вылов омуля. Детальный анализ размеров вреда, причиненного экологическими правонарушениями в сфере рыболовства, свидетельствует о возрас-

² Об утверждении Правил рыболовства в бассейне озера Байкал и других рыбохозяйственных водоемах Бурятской АССР, Иркутской и Читинской областей [Электронный ресурс] : приказ Минрыбхоза СССР от 1 дек. 1969 г. № 401 // СПС «КонсультантПлюс».

³ URL: <https://baikalproc.ru>.

⁴ О разъяснении вопросов добычи и реализации байкальского омуля. URL: <https://baikalproc.ru/orazyasnenii-voprosov-dobychi-i-realizatsii-bajkalskogo-omulya>.

Таблица 1 / Table 1

Динамика числа нарушений законодательства в сфере рыболовства и сохранения водных биоресурсов на Байкальской природной территории
Dynamics of the number of violations of laws on fishing and preservation of water bio-resources on Baikal Natural Territory

Год / Year	Количество составленных протоколов об административных правонарушениях / Number of protocols on administrative violations	Количество административных дел, направленных в следственные органы МВД / Number of administrative cases forwarded to the investigation authorities of the Ministry of the Interior
2014	2 864	188
2015	3 110	137
2016	3 629	101
2017	2 510	115
2018	2 012	157

тании полярности таких показателей, как количество конфискованной незаконно добытой рыбы (после вступивших в силу с 1 октября 2017 г. изменений в Правила рыболовства) — увеличилось на 6 341 кг, и общая сумма исковых требований о возмещении вреда, причиненного окружающей среде, — возросла на 12 730 742 р. (табл. 2).

В целях использования эффективных мер противодействия браконьерству на озере Байкал необходим полноценный криминологический анализ незаконной добычи омуля. При этом нужно понимать, что только запретительные меры не могут являться основным и единственным элементом регулирования процесса осуществления рыбного промысла на Байкале. Они лишь вынуждают правонарушителей быть более осторожными и предусмотрительными, повышать свою мобильность благодаря использованию современного материально-технического оснащения. К тому же очаги браконьерства по мере изменения местонахождения

популяции, которая периодически покидает прибрежную часть озера, смещаются вглубь акватории Байкала. Все эти причины затрудняют быстрое и эффективное реагирование органов, уполномоченных осуществлять экологический контроль, а потому возрастает количество неучтенных нарушений, что с учетом высокой степени их латентности затрудняет объективную оценку состояния экологической правонарушаемости и преступности данного вида.

Также необходимо учитывать, что вред, наносимый выловом омуля на путях нерестовых миграций, несопоставим с вредом, наносимым выловом нагульного омуля. В этой связи особую актуальность приобретает организация предупредительной деятельности сотрудников правоохранительных и контролирующих органов, нацеленная на недопущение совершения правонарушений и преступлений (ловить браконьеров на этапе постановки орудий лова, а не с рыбой), особенно в период нереста.

Таблица 2 / Table 2

Вред, причиненный нарушениями законодательства в области рыболовства и сохранения водных биологических ресурсов на Байкальской природной территории
Damage inflicted by violations of laws on fishing and preservation of water bio-resources on Baikal Natural Territory

Год / Year	Количество изъятой рыбы, кг / Amount of confiscated fish, kilos	Размер предъявленного иска о возмещении вреда, р. / Size of the claim for damages, RUR
2014	10 308	2 192 151
2015	7 989	2 126 343
2016	7 190	17 43 511
2017	5 228	1 794 820
2018	11 569	14 525 562

Одни только запретительные меры объективно порождают прогрессирующие процессы криминализации, в настоящий момент характерные для сферы использования и охраны водных биоресурсов Байкала. Согласно данным ГУВД по Иркутской области, МВД по Республике Бурятия, УМВД России по Забайкальскому краю и Росприроднадзора, приведенным в государственном докладе «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2017 году», количество преступлений, предусмотренных ст. 256 УК РФ и совершенных на Байкальской природной территории в 2012–2017 гг., увеличилось на 25,7 % (табл. 3)⁵.

Криминологическая наука рассматривает водное браконьерство как одно из высокодоходных экологических преступлений [5]. Именно корыстные мотивы являются основной составляющей причинного комплекса незаконной добычи омуля. Некоторые специалисты подчеркивают, что осуществление незаконной добычи рыбы требует применения определенных знаний, навыков и способов. Незаконные добыча и сбыт омуля обеспечивают быстрый и высокий доход. Кроме того, значительное повышение цены на незаконно добытый омуль в результате введенного запрета (в 2–3 раза) увеличивает привлекательность данной деятельности для браконьеров. Для снижения спроса населения на данную продукцию необходима система мер по насыщению регионального рынка ассортиментом качественной морской рыбной продукции.

Рыбная ловля традиционно считалась основным и привычным для населения, проживающего на Байкальской территории, видом

⁵ О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2017 году : гос. докл. URL: <http://baikalake.ru/security/info/reports/report2017>.

деятельности и источником дохода. В связи с установленными ограничениями сложившаяся ситуация стала приобретать остросоциальный характер. Такое положение дел обуславливают экономические факторы, порождающие преступность на Байкале. Среди других факторов можно выделить высокий уровень латентности, формирующий мнение о возможности избежать наказание, пониженный уровень осознания ответственности рядовых граждан за сохранение природы, ложное представление о неисчерпаемости природных ресурсов.

На наш взгляд, комплексный анализ факторов, детерминирующих правонарушаемость в целом и преступное поведение в сфере незаконной добычи омуля, необходимо производить с учетом научно обоснованных оценок популяции омуля на Байкале. В расчет должны браться не только правовые, но и экологические, а также социально-экономические аспекты [6–15]. Это позволит более полно учесть ситуацию с рыбным хозяйством на Байкале и создать эффективную, четкую, соответствующую потребностям общества нормативно-правовую базу управления биоресурсами Байкала с высоким антикриминогенным потенциалом.

Для научно обоснованной оценки популяции омуля в Байкале и более полного учета экологических аспектов проблемы Лимнологическим институтом СО РАН совместно с Байкальским госуниверситетом проведена научно-исследовательская экспедиция. Она состоялась в рамках реализации государственной темы «Биолого-экономический анализ зарыбления Маломорского промыслового района на ближайшую перспективу» (2019 г.).

Для подобного рода исследований имеется научно-методическая база и соответствующий

Таблица 3 / Table 3

Динамика числа преступлений, предусмотренных ст. 256 УК РФ, зарегистрированных на Байкальской природной территории в 2012–2017 гг.

Dynamics of the number of crimes under Art. 256 of the Criminal Code of the Russian Federation, registered on Baikal Natural Territory in 2012–2017

Год / Year	Забайкальский край / Zabaikalsky Region	Республика Бурятия / Buryat Republic	Иркутская область / Irkutsk Region	Всего / Total
2012	0	173	14	187
2013	0	143	7	150
2014	0	183	8	191
2015	1	137	11	149
2016	0	115	14	129
2017	0	221	14	235

инструментарий. Достаточно сказать, что история изучения омуля восходит к первым экспедициям Российской академии наук в XVIII в., к его описанию Георги в 1775 г. [16]. Целенаправленный мониторинг состояния его запасов начался с введения запрета на промысел омуля (1969–1975 гг.), последующего осуществления научно-промысловой разведки (1976–1981 гг.) и применяется до последнего времени [17]. В результате накоплен обширный фактический материал, благодаря которому сложился комплекс представлений в отношении биологии данного вида, его места в экосистеме озера [18] и основных характеристик популяционной динамики.

Одним из инструментов проверки адекватности сложившихся представлений относительно популяционной динамики омуля и его запасов может служить метод имитационного моделирования. Опыт построения сложных многофакторных моделей [19; 20] показал, что они, в том числе из-за затруднений в информационном наполнении, пока не нашли применения в практике дальнейших исследований и административно-правовом регулировании рыболовства. Полезными могут оказаться более простые модели [21], которые в сочетании с биостатистическими методами являются основным классом используемых моделей в практике рыбохозяйственных исследований.

Применение методов математического моделирования для оценки и прогнозирования динамики численности байкальского омуля весьма актуально, особенно в связи с запретом на промышленный и любительский лов⁶, который привел к ряду негативных социально-экономических последствий, в частности для местного населения. Однако введение запрета без реорганизации работы органов рыбоохраны, путем только увеличения штатной численности контролеров и материально-технического обеспечения, не может являться эффективной мерой. Более того, сам запрет не имеет логичного научного обоснования. В последнее десятилетие ряд исследователей рыбохозяйственного профиля выразил мнение о некорректности использования данных официальной промыс-

ловой статистики, в том числе по байкальскому омулю. Прежде всего у них вызывает большие сомнения:

- точность оценки объемов добычи и отлова омуля, получаемой на основе данных официальных рыбозаготовителей, поскольку у последних нет объективной заинтересованности в предоставлении достоверных данных;

- точность оценки объемов неучтенного, неконтролируемого и незаконного промысла на основе косвенных данных и экспертных оценок;

- корректность использования (недоступных для общего пользования) программных ресурсов виртуально-популяционного анализа, в том числе в силу явных противоречий результатов анализа заключительному изложению в части выводов и предлагаемых мер⁷.

В этой связи очень важно развитие и активное практическое применение метода подсчета численности с использованием гидроакустических методов [22; 23], преимущества которых обусловлены особенностями биологии байкальского омуля [24], наполнение имитационных моделей полученными данными и на этой основе прогнозирование изменения запасов и выработка рекомендаций по их рациональному использованию. В настоящее время биостатистические методы могут служить в качестве дополнения, позволяющего проводить корректировку исходя из особенностей популяционной структуры байкальского омуля. Предлагаемая модель описывает динамику популяции в самом общем виде. Она будет служить основой для ее дальнейшего поэтапного развития [25], возрождения ранее активно проводившихся исследований [19; 26; 27] по математическому моделированию функционирования системы озера Байкал.

Позиция о необходимости решения проблемы учета запасов байкальского омуля, для чего требуется внедрение методов моделирования их динамики и прогнозирования их изменения, сформировалась в ходе экспедиции лаборатории междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий Лимнологического института СО РАН в августе 2019 г. при изучении возможностей и проблем вос-

⁶ О внесении изменений в Правила рыболовства для Байкальского рыбохозяйственного бассейна, утвержденные приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 7 ноября 2014 г. № 435 [Электронный ресурс] : приказ Минсельхоза РФ от 29 авг. 2017 г. № 450 // СПС «КонсультантПлюс».

⁷ Материалы, обосновывающие общие допустимые уловы водных биологических ресурсов в озере Байкал (с впадающими в него реками) на 2018 г. (с оценкой воздействия на окружающую среду). URL: <http://ольхонский-район.пф/tinybrowser/files/novosti/odu-na-2018-god-dlya-obschestvennyh-slushaniy.pdf>.

производства ценных видов рыб озера Байкал в административных границах Иркутской области. Данная позиция обусловлена отсутствием достоверных сведений о состоянии популяции байкальского омуля, в связи с тем что нет информации о промышленном вылове, которая до введения запрета являлась основой прогнозов ОДУ.

Цель данной работы заключается в создании основы имитационной модели динамики численности байкальского омуля, в определении наиболее актуальных направлений ее развития исходя из имеющихся данных, которые мы можем считать достоверными, и данных, которые мы можем получать на регулярной основе с учетом потребностей рыбохозяйственного комплекса.

Уравнения динамики численности популяции омуля

Одним из основных показателей излагаемой здесь модели является численность половозрелой популяции омуля в озере в году t . Обозначим ее N_t . Пусть Δ_t — прирост численности в году t . Эта величина может быть как положительной, так и отрицательной, если популяция омуля сокращается в данном году. Численность омуля в следующем после t году ($t + 1$) задается выражением $N_{t+1} = N_t + \Delta_t$, $t = 1, 2, 3, \dots$

Прирост численности популяции омуля определим как разность между численностью молодежи, поступающей в группу половозрелых особей, и убылью из нее в году t . При этом убыль определяется как сумма двух составляющих — убыли в результате естественной смертности и в результате отлова. Эти составляющие представлены в приведенном ниже выражении прироста численности:

$$\Delta_t = hN_{t-k} - f(N_t) - bN_t. \quad (1)$$

Здесь первая составляющая hN_{t-k} равна количеству особей, поступающих в группу половозрелых. Это количество формируется нерестом икры в году $t - k$, где k — период созревания. В приводимых далее расчетах принято значение $k = 5$, поскольку некоторые эколого-морфологические группы байкальского омуля, например северобайкальский [7], превращаются из икры в половозрелых особей за пять лет.

В выражении (1) h — коэффициент воспроизводства зрелого омуля, зависящий от многих факторов. Его можно представить в виде произведения коэффициентов, отражающих от-

дельные временные этапы в воспроизводстве: $h = h_1 \cdot h_2 \cdot h_3 \cdot h_4 \cdot h_5$. Здесь h_1 — доля нерестовых самок в численности омуля. Можно заметить, что эта доля относительно невелика, в пределах 3 % от общей численности. Коэффициент h_2 — среднее количество выметанной одной самкой икры; h_3 — доля выжившей икры; h_4 — доля выживших личинок; h_5 — доля выживших мальков. В данной статье ограничимся оценкой результирующего коэффициента h .

Значением функции $f(N_t)$ является количество омуля, погибшего в году t по естественным причинам, например таким, как различные возрастные заболевания и поедание хищниками. В качестве аргумента здесь рассматривается только численность омуля. Реально на естественную смертность влияет много других факторов, пока не учитываемых в модели.

Иногда в работах по популяционной динамике рассматривается естественная смертность в виде линейной функции от числа особей [11]. Тогда

$$f(N_t) = rN_t, \quad (2)$$

где r — коэффициент смертности. В каком-то приближении можно считать, что вероятность смертности каждой особи в данном году неизменна и не зависит от числа особей. Вместе с тем известно, что с ростом численности популяции коэффициент смертности, как правило, возрастает. Это происходит в результате действия следующих факторов:

- болезни, обусловливаемые ростом количества контактов;
- усиление конкуренции за ресурсы питания. Здесь важно понимать, что помимо физической смерти особей необходимо рассматривать и биологическую, т.е. их неспособность к участию в воспроизводстве;
- увеличение выедания хищниками.

Действие указанных факторов можно принять в виде линейной функции от числа особей. Поэтому можно считать, что в (2) коэффициент смертности r сам является линейной функцией $r(N_t) = r_0 + r_1 N_t$. Здесь r_0 и r_1 — некоторые положительные коэффициенты. Следовательно, выражение (2) приобретает вид квадратичной зависимости

$$f(N_t) = r_0 N_t + r_1 (N_t)^2. \quad (3)$$

Третья составляющая в правой части выражения (1) задает количество выловленного омуля в году t . Это количество зависит от коэф-

коэффициента эффективности отлова b , который соответствует коэффициенту промысловой смертности в когортных моделях, и количества омуля в данном году. Коэффициент эффективности отлова в некоторых модификациях модели можно рассматривать в виде зависимости от показателя интенсивности отлова, который обозначим x_t : $b = b(x_t)$.

Оценка названного показателя требует дополнительного осмысления в связи с низкой достоверностью данных промысловой статистики, с одной стороны, и недостаточной эффективностью деятельности уполномоченных органов в части контроля над рыболовством — с другой. Орудия лова и способы избежать наказания за нарушения в сфере рыболовства постоянно совершенствуются. В сложившихся социально-экономических условиях уровень браконьерства обусловлен в первую очередь экономической составляющей, в том числе предусмотренной административной и уголовной ответственностью. Эти затраты могут отражать текущие издержки и инвестиции в ловле рыбы в виде, например, приведенных затрат. Мерой может выступать средняя цена рыбы на рынке, которая отражает как количество поступающей на рынок рыбы, так и указанные выше экономические основания. С использованием данной зависимости, дополненной другими экономическими связями (например, зависимость цены от объема спроса), можно превратить рассматриваемую модель в экономико-математическую. Это может послужить для изучения экономических механизмов регулирования лова и численности омуля, для анализа последствий введения различных ограничений и возрастания в силу этого предельных издержек на ловлю рыбы. При этом могут исследоваться и такие факторы, как искусственное разведение омуля или родственных видов рыб, их завоз из других мест.

Стационарность

Особый интерес представляет ситуация постоянства во времени количества омуля, т.е. когда $N_t = N$, $t = t - k, t - k + 1, \dots, t$ при некотором N . Хотя реально численность рыбы не находится в стационарном состоянии, в грубом приближении можно предположить, что в течение нескольких соседних лет численность популяции омуля меняется незначительно, т.е. находится в квазистационарном состоянии. Это может быть полезным для оценки параметров

модели и понимания механизма регулирования численности популяции.

Рассмотрим пример использования условия стационарности для оценки параметров модели. Пусть известна численность омуля в стационарном состоянии: $N = 0,4$ млрд особей. Данная величина взята с учетом вероятного занижения оценок запасов омуля. Пусть коэффициенты квадратичной функции естественной смертности имеют значения $r_0 = 0,13$, $r_1 = 0,2$. Считаем, что коэффициент эффективности отлова нагульной части популяции равен 2 %, т.е. $b = 0,02$. На основе этих данных, применяя условие стационарности, можно оценить коэффициент воспроизводства h .

Отметим, что условие стационарности означает выполнение равенства $N = N + hN - f(N) - bN$.

При использовании квадратичной зависимости (3) это равенство эквивалентно условию

$$\delta(N) = 0, \quad (4)$$

где

$$\delta(N) = h - r_0 - r_1 N - b \quad (5)$$

С использованием этих обозначений условие стационарности имеет вид $N = N(\delta(N) + 1)$.

Из условия (4) при указанных выше значениях r_0 , r_1 , N , b находим $h = 0,23$, т.е. пополнение первого возрастного класса составляет 23 % от численности популяции. Таким образом, условие стационарности в этом случае, как и в других, может служить источником дополнительной информации и способом проверки сложившихся представлений о возрастной структуре омуля и принятых в рыбохозяйственной практике коэффициентов смертности.

Изменение численности омуля по результатам расчетов с использованием модели

Излагаемую модель можно отнести к классу имитационных. При заданной численности омуля в первые пять лет на основе приведенных выше выражений можно рассчитать его численность в шестом, седьмом и дальнейших годах. На рис. 1–3 представлены результаты таких расчетов на основе параметров модели из предыдущего раздела.

На рис. 1 продемонстрировано три варианта расчетов с использованием рассматриваемой имитационной модели при неизменной в течение первых пяти лет экзогенно заданной

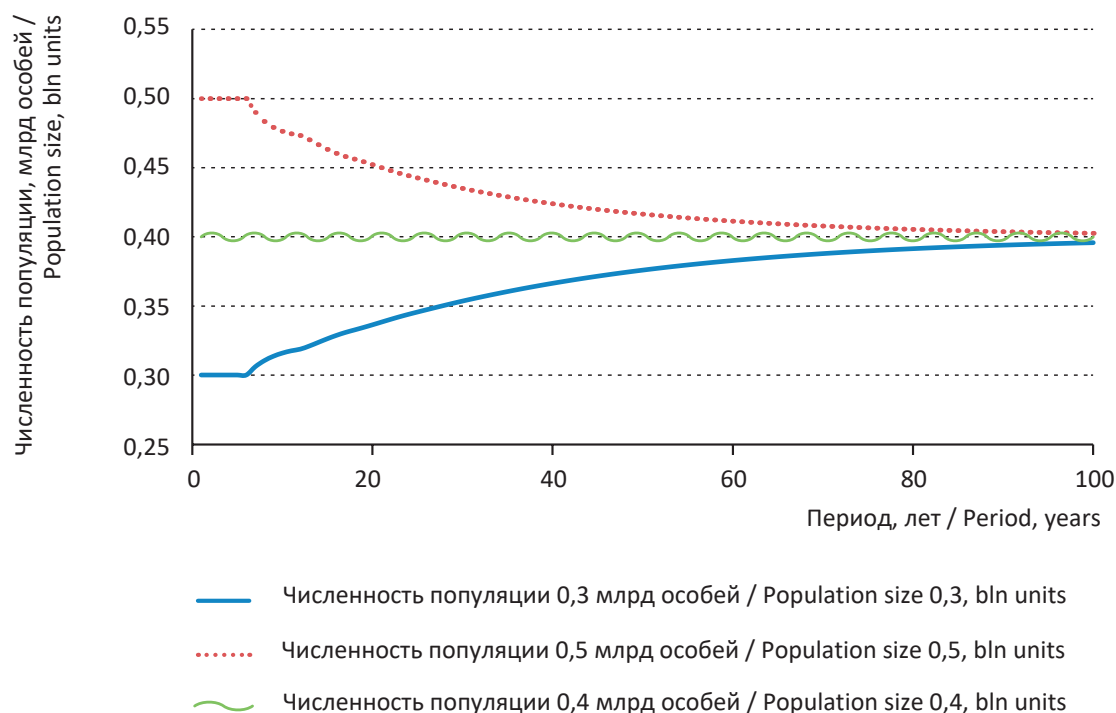


Рис. 1. Результаты расчета динамики численности омуля по годам при трех неизменных во времени сценариях количества омуля в первые пять лет

Fig. 1. Results of calculating the dynamics in the number of omul, by year, in three time-constant scenarios of the number of omul in the first five years

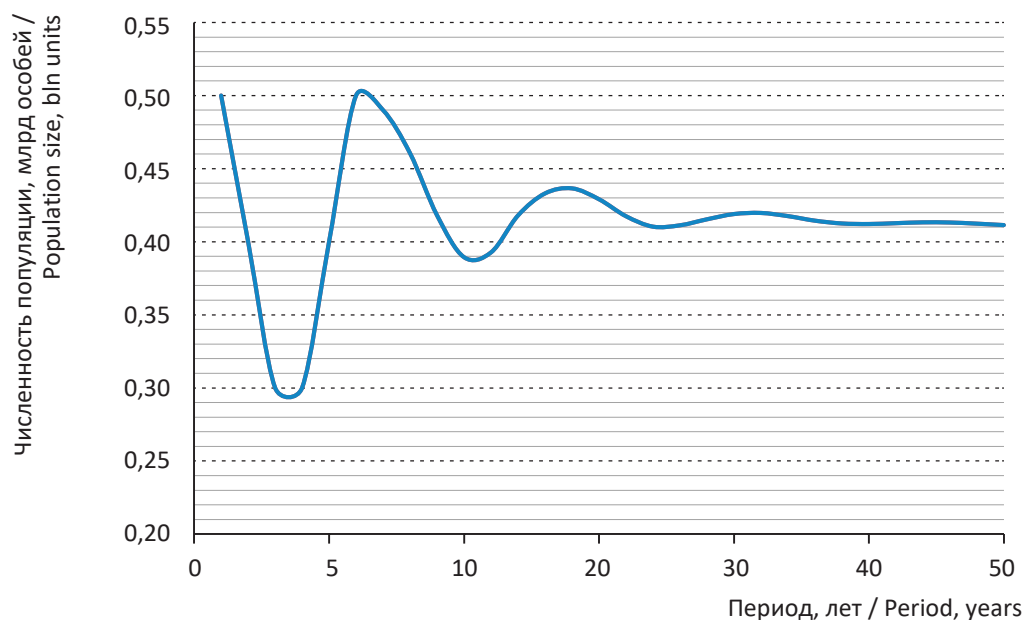


Рис. 2. Результаты расчета динамики численности омуля по годам в виде колебательного изменения численности в первые пять лет (0,5; 0,4; 0,3; 0,3; 0,4 млрд особей)

Fig. 2. Results of calculating the dynamics of the number of omul, by year, in the form of fluctuation of number in the first five years (0,5; 0,4; 0,3; 0,3; 0,4 bln units)

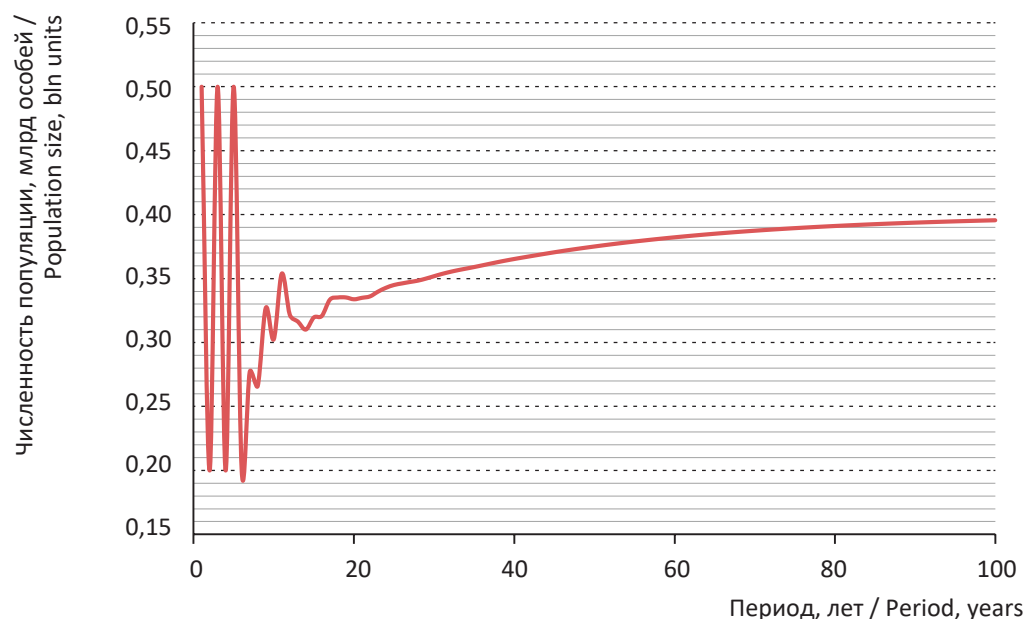


Рис. 3. Результаты расчета динамики численности омуля по годам при резком ежегодном изменении численности в первые пять лет (0,5; 0,2; 0,5; 0,2; 0,5 млрд особей)

Fig. 3. Results of calculating the dynamics of the number of omul, by year, during abrupt yearly changes of numbers in the first five years (0,5; 0,2; 0,5; 0,2; 0,5 bln units)

численности омуля. Если эта численность равна 0,4 млрд особей, то имеем центральную горизонтальную линию. Изначально и во все последующие годы, согласно этим расчетам, численность омуля пребывает в стационарном состоянии.

Два других графика на рис. 1 отражают начальную ситуацию выше и ниже стационарного уровня (0,5 и 0,3 млрд особей соответственно). В обоих случаях динамика численности популяции омуля монотонно сходится к стационарной численности.

На рис. 2 представлены результаты расчета динамики численности омуля в случае, когда в начальный период численность задана в виде колебательного движения с периодом в пять лет около стационарного состояния (0,5; 0,4; 0,3; 0,3; 0,4 млрд особей). Видим, что колебательные изменения объемов повторяются в течение ближайших десяти и более лет со снижением амплитуды колебаний. При этом процесс также сходится к стационарному состоянию.

На рис. 3 рассматривается малореальный случай резких колебательных изменений численности омуля в первые пять лет в большом диапазоне (0,5; 0,2; 0,5; 0,2; 0,5 млрд особей).

В этом случае также происходит процесс сходимости к стационарному состоянию. Несколько хаотичный колебательный процесс наблюдается только в течение первых десяти лет. То есть можно сказать, что модель имеет устойчивость к нереально сильным возмущающим воздействиям, что является ее достоинством.

Задача максимизации вылова

Представленная модель при соответствующем ее развитии может быть полезной для решения многих задач, в том числе для определения максимально возможного объема вылова омуля.

В этом случае варьирующимся параметром будет показатель удельного вылова b . Исходя из (5), можем выразить стационарное количество рыбы в виде линейной зависимости от удельного вылова:

$$N(b) = \frac{h - r_0 - b}{r_1}.$$

Отсюда количество вылавливаемой рыбы в стационарном состоянии определяется в виде квадратичной вогнутой функции $F(b) = bN(b)$.

Максимальное значение этой функции достигается в точке, где ее производная равна

нулю. Приравняв производную к нулю, получаем искомый коэффициент отлова:

$$\bar{b} = \frac{h - r_0}{2} = 0,05.$$

Этот коэффициент существенно — в 2,5 раза — больше, чем использовавшееся ранее значение $b = 0,02$. При коэффициенте отлова \bar{b} значительно сократится численность в стационарном состоянии $\bar{N} = N(\bar{b})$. Оно станет равным 0,25 млрд особей. Это более чем в 1,5 раза меньше, чем рассматривавшийся ранее стационарный объем $N = 0,4$ млрд особей. При этом количество вылавливаемой рыбы увеличивается более чем в 1,5 раза — до значения $F(\bar{b}) = 12,5$ млн особей в год. Ранее это значение было равно $F(b) = 8$ млн особей в год.

Направления развития модели определения численности популяции омуля

Представляется необходимым дальнейшее развитие модели в следующих направлениях:

1. Детализация по возрастам и исследованию динамики возрастных (по годам) групп, размерных и весовых характеристик популяции.

2. Наполнение модели фактическим материалом, анализ, описание и исследование механизма воспроизводства популяции.

3. Развитие и использование методов оценки параметров по располагаемым (неполным, противоречивым, косвенным, разновременным и т.д.) данным. Настройка модели на учет возрастных, размерных групп при разных соотношениях популяций промыслового стада и вылова нерестовых особей.

4. Описание и изучение динамики существенно влияющих на популяцию экзогенных факторов, таких как изменение кормовой базы, водность озера и нерестовых рек, особенности прогрева прибрежных и поверхностных вод и ветрового режима.

5. Учет и исследование экономических факторов, в том числе экономических основ лова,

возможностей искусственного воспроизводства популяции, альтернатив деятельности населения, занятого в промысле омуля.

6. Разработка модификаций и исследование поведения модели при действии случайных факторов на основе использования метода Монте-Карло.

Уникальность и особая значимость экосистемы Байкала, его высокий природоохранный статус, а также брендовые природные ресурсы [28], одним из которых является байкальский омуль, широко известны в России и за рубежом и нуждаются в рациональном использовании и охране. При этом правовой режим охраны ресурсов Байкала не должен базироваться только на императивных запретах, которые не всегда отражают существенные эколого-экономические и социальные реалии, а значит, не могут служить надежной основой правовой политики в природоохранной сфере данной территории.

Создание эффективного эколого-правового механизма сохранения и устойчивого развития Байкальской природной территории должно базироваться на системе научно обоснованных критериев.

Рассмотренная в работе математическая модель описывает динамику популяции байкальского омуля в общем виде. При дальнейшей ее модификации модель можно использовать для постановки ряда оптимизационных задач, в частности задачи оптимизации объема вылова омуля, что, безусловно, представляет практический интерес.

Таким образом, полученные при построении математической модели выводы, позволяющие определить необходимые параметры вылова омуля, следует рассматривать как научную основу для формирования правовой политики в области рыболовства и сохранения водных биологических ресурсов Байкала с учетом социальных, экономических и криминологических аспектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние природных и антропогенных факторов на развитие удаленных озер Восточной Сибири за последние 200 лет / А.П. Федотов, С.С. Воробьева, Н.А. Бондаренко [и др.] // Геология и геофизика. — 2016. — Т. 57, № 2. — С. 394–410.
2. Суходолов А.П. Гидроминеральные рекреационные ресурсы Байкальского региона (бассейна Байкала): характеристика и перспективы использования / А.П. Суходолов // Известия Иркутской государственной экономической академии. — 2014. — № 5 (97). — С. 40–46.
3. Березина З. В России с 2017 года запретят вылов байкальского омуля / З. Березина. URL: <https://newdaynews.ru/society/560176.html>.
4. Аргунова Ю.Ю. История борьбы с браконьерством в Байкальском регионе в период 1917–1980-х гг. / Ю.Ю. Аргунова // Проблемы социально-экономического развития Сибири. — 2016. — № 3 (25). — С. 67–74.

5. Дубовик О.Л. Причины экологических преступлений / О.Л. Дубовик, А.Э. Жалинский. — Москва : Наука, 1988. — 240 с.
6. Ишигеев В.С. Особенности личности преступника в сфере незаконной охоты и добычи водных биологических ресурсов / В.С. Ишигеев, А.Я. Бондарь // Криминологический журнал Байкальского государственного университета экономики и права. — 2013. — № 2. — С. 88–93.
7. Ишигеев В.С. К вопросу об эффективности противодействия преступлениям в сфере экологии / В.С. Ишигеев, А.В. Пузикова, А.Я. Бондарь // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. — 2018. — № 4 (87). — С. 46–49.
8. Лавыгина И.В. Некоторые проблемы определения последствий экологических преступлений / И.В. Лавыгина // Уголовно-правовые и криминологические проблемы борьбы с преступностью : сб. науч. тр. / ред. А.Л. Репецкая. — Иркутск, 2003. — Вып. 1. — С. 125–134.
9. Суходолов А.П. Коррупция: механизмы развития, способы профилактики (опыт компьютерного моделирования с применением численных методов) / А.П. Суходолов, И.А. Кузнецова // Вестник РУДН. Сер.: Математика, информатика, физика. — 2018. — Т. 26, № 2. — С. 183–193.
10. Шагунов А.П. Роль малых предприятий в социально-экономическом развитии региона / А.П. Шагунов, Ю.А. Ско-робогатова // Проблемы управления производственными и инновационными системами : материалы Всерос. науч.-практ. конф. — Иркутск, 2018. — С. 178–183.
11. Evaluating and Ranking the Vulnerability of Global Marine Ecosystems to Anthropogenic Threats / B.S. Halpern, F. Micheli, K.A. Selkoe, C.V. Kappel // Conservation Biology. — 2007. — Vol. 21, iss. 5. — P. 1301–1315.
12. Gibbs C. Intelligence-led Policing and Transnational Environmental Crime: a Process Evaluation / C. Gibbs, E.F. McGarrell, B. Sullivan // European Journal of Criminology. — 2015. — Vol. 12, iss. 2. — P. 242–259.
13. Is it a Crime to Produce Ecological Disorganization? Why Green Criminology and Political Economy Matter in the Analysis of Global Ecological Harms / M.J. Lynch, K.L. Barrett, M.A. Long, P.B. Stretesky // The British Journal of Criminology. — 2013. — Vol. 53, iss. 6. — P. 997–1016.
14. Ruggiero V. Green Criminology and Dirty Collar Crime / V. Ruggiero, N. South // Critical Criminology. — 2010. — Vol. 18, № 4. — P. 251–262.
15. Floyd R. Environmental security and the case against rethinking criminology as «security-ology» / R. Floyd // Criminology & Criminal Justice. — 2015. — Vol. 15, iss. 3. — P. 277–282.
16. Кожов М.М. Очерк истории исследований рыб и рыбного промысла на озере Байкал и в его бассейне / М.М. Кожов // Рыбы и рыбное хозяйство в бассейне озера Байкал. — Иркутск, 1958. — С. 6–32.
17. Соколов А.В. О причинах введения запрета на промысловый лов омуля (*Coregonus autumnalis migratorius*, Georgi) озера Байкал в современный период / А.В. Соколов, В.А. Петерфельд // Балтийский морской форум : материалы 6-го Междунар. Балт. мор. форума. — Калининград, 2018. — С. 158–164.
18. Fedotov A.P. Climatic change and aquatic ecosystem response under natural and human impact: Insights from sedimentary proxies, hydrological time-series and remote sensing / A.P. Fedotov, D.B. Ryves, S. Sturm. — DOI: 10.1016/j.quaint.2019.09.010 // Quaternary International. — 2019. — Vol. 524. — P. 1–3.
19. Канторин В.В. Математическое моделирование популяции байкальского омуля / В.В. Канторин. — Новосибирск : Наука, 1980. — 208 с.
20. Волерман И.Б. Биологические сообщества рыб и нерпы в Байкале / И.Б. Волерман, В.В. Канторин. — Новосибирск : Наука, 1983. — 248 с.
21. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов / В.К. Бабаян, А.Е. Бобырев, Т.И. Булгакова [и др.]. — Москва : Изд-во ВНИРО, 2018. — 312 с.
22. Байкальский омуль. Гидроакустический учет ресурсов в 2015 г. Карта № 193 / А.И. Дергев, М.М. Макаров, К.М. Кучер [и др.]. URL: <http://atlas.isc.irk.ru>.
23. The results of the first hydroacoustic studies of the winter distribution of *Coregonus migratorius* in Lake Baikal / P.N. Anoshko, M.M. Makarov, I.N. Smolin, E.V. Dzyuba. — DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-3-232 // Limnology and Freshwater Biology. — 2019. — № 3. — P. 232–235.
24. Гидроакустический учет ресурсов байкальского омуля / Н.Г. Мельник, Н.С. Смирнова-Залуми, В.В. Смирнов [и др.]. — Новосибирск : Наука, 2009. — 244 с.
25. Динамическая теория биологических популяций / А.А. Гимельхорд, Л.П. Гинзбург, Р.А. Полуэктов [и др.]. — Москва : Наука, 1974. — 436 с.
26. Модели природных экосистем / под ред. В.И. Гурмана, И.П. Дружинина. — Новосибирск : Наука, 1978. — 229 с.
27. Оптимальное управление природно-экономическими системами / под ред. В.И. Гурмана, А.И. Москаленко. — Москва : Наука, 1980. — 296 с.
28. Потапова Е.В. Гармонизация рекреационных возможностей и растущего туристического потока на Байкальской природной территории / Е.В. Потапова, Я.А. Суходолов. — DOI: 10.17150/2500-2759.2019.29(1).7-17 // Известия Байкальского государственного университета. — 2019. — Т. 29, № 1. — С. 7–17.

REFERENCES

1. Fedotov A.P., Vorobyeva S.S., Bondarenko N.A., Tomberg I.V., Zhuchenko N.A. [et al.]. The Effect of Natural and Anthropogenic Factors on the Evolution of Remote Lakes in East Siberia for the Last 200 Years. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57, no. 2, pp. 316–328. (In Russian).
2. Sukhodolov A.P. Hydro Mineral Recreational Resources of the Baikal Region (Baikal Basin): Characteristics and Prospects of Usage. *Izvestiya Irkutskoi gosudarstvennoy ekonomicheskoi akademii = Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy*, 2014, no. 5 (97), pp. 40–46. (In Russian).

3. Berezina Z. *V Rossii s 2017 goda zapretyat vylov baikal'skogo omulya* [Fishing of Baikal omul will be banned in Russia from 2017]. Available at: <https://newdaynews.ru/society/560176.html>. (In Russian).
4. Argunova Yu.Yu. History of Struggle with Poaching in the Baikal Region in 1917–1980th. *Problemy sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Sibiri = Issues Of Social-Economic Development Of Siberia*, 2016, no. 3 (25), pp. 67–74. (In Russian).
5. Dubovik O.L., Zhalinskii A.E. *Prichiny ekologicheskikh prestuplenii* [Reasons of Ecological Crimes]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 240 p.
6. Ishigeev V.S., Bondar A.J. Criminal Personality Aspects in Illegal Hunt and Aquatic Biological Resources Extraction. *Kriminologicheskii zhurnal Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i prava = Criminology Journal of Baikal National University of Economics and Law*, 2013, no. 2, pp. 88–93. (In Russian).
7. Ishigeev V.S., Puzikova A.V., Bondar A.Y. To the Question about the Effectiveness of Counteraction to Crimes in the Sphere of Ecology. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii = Vestnik of the Eastern Siberia Institute of the Ministry of the Interior of the Russian Federation*, 2018, no. 4 (87), pp. 46–49. (In Russian).
8. Lavygina I.V. To the Question about the Effectiveness of Counteraction to Crimes in the Sphere of Ecology. In Repetskaya A.L. (ed.). *Ugolovno-pravovye i kriminologicheskie problemy bor'by s prestupnost'yu* [Criminal Law and Criminological Aspects of Counteracting Crime]. Irkutsk, 2003, vol. 1, pp. 125–134. (In Russian).
9. Sukhodolov A.P., Kuznetsova I.A. Corruption: Development Mechanisms, Ways of Prevention (Experience of Computer Modeling with Application of Numerical Methods). *Vestnik RUDN. Seriya: Matematika, informatika, fizika = RUDN Journal of Mathematics, Information sciences and Physics*, 2018, vol. 26, no. 2, pp. 183–193. (In Russian).
10. Shagunov A.P., Skorobogatova Yu.A. The role of small business in the socio-economic development of the region. *Problemy upravleniya proizvodstvennymi i innovatsionnymi sistemami. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems of Managing Production and Innovation Systems. Materials of All-Russian Research Conference]. Irkutsk, 2018, pp. 178–183. (In Russian).
11. Halpern B.S., Micheli F., Selkoe K.A., Kappel C.V. Evaluating and Ranking the Vulnerability of Global Marine Ecosystems to Anthropogenic Threats. *Conservation Biology*, 2007, vol. 21, iss. 5, pp. 1301–1315.
12. Gibbs C., McGarrell E.F., Sullivan B. Intelligence-led Policing and Transnational Environmental Crime: a Process Evaluation. *European Journal of Criminology*, 2015, vol. 12, iss. 2, pp. 242–259.
13. Lynch M.J., Barrett K.L., Long M.A., Stretesky P.B. Is it a Crime to Produce Ecological Disorganization? Why Green Criminology and Political Economy Matter in the Analysis of Global Ecological Harms. *The British Journal of Criminology*, 2013, vol. 53, iss. 6, pp. 997–1016.
14. Ruggiero V., South N. Green Criminology and Dirty Collar Crime. *Critical Criminology*, 2010, vol. 18, no. 4, pp. 251–262.
15. Floyd R. Environmental security and the case against rethinking criminology as «security-ology». *Criminology and Criminal Justice*, 2015, vol. 15, iss. 3, pp. 277–282.
16. Kozhov M.M. An essay on the history of researching fish and fishing in Lake Baikal and its Basin. *Ryby i rybnoe khozyaistvo v basseine ozera Baikal* [Fish and Fisheries in the Basin of Lake Baikal]. Irkutsk, 1958, pp. 6–32. (In Russian).
17. Sokolov A.V., Peterfeld V.A. About The Reasons of a Ban on Commercial Fishing of Omul (*Coregonus Autumnalis Migratorius*, Georgi) in Lake Baikal in the Modern Period. *Baltiiskii morskoi forum. Materialy 6-go Mezhdunarodnogo Baltiiskogo morskogo foruma* [The Baltic Sea Forum. Materials of the 6th International Baltic Sea Forum]. Kaliningrad, 2018, pp. 158–164. (In Russian).
18. Fedotov A.P., Ryves D.B., Sturm S. Climatic Change and Aquatic Ecosystem Response under Natural and Human Impact: Insights from Sedimentary Proxies, Hydrological Time-series and Remote Sensing. *Quaternary International*, 2019, vol. 524, pp. 1–3. DOI: 10.1016/j.quaint.2019.09.010.
19. Kantorin V.V. *Matematicheskoe modelirovanie populyatsii baikal'skogo omulya* [Mathematical Modeling of the Population of Baikal Omul]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1980. 208 p.
20. Volerman I.B., Kantorin V.V. *Biologicheskie soobshchestva ryb i nerpy v Baikale* [Biological Communities of Fish and Nerpa Seals in Baikal]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983. 248 p.
21. Babayan V.K., Bobyrev A.E., Bulgakova T.I. [et al.]. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke zapasov prioritnykh vidov vodnykh biologicheskikh resursov* [Methodological Recommendations on Assessing the Resources of the Priority Types of Water Biological Resources]. Moscow, VNIRO Publ., 2018. 312 p.
22. Degtev A.I., Makarov M.M., Kucher K.M., Khanaev I.V., Mamontov A.M. *Baikal'skii omul'. Gidroakusticheskii uchet resursov v 2015 g. Karta № 193* [Baikal omul. Hydro-acoustic assessment of resources in 2015. Map No 193]. Available at: <http://atlas.isc.irk.ru>. (In Russian).
23. Anoshko P.N., Makarov M.M., Smolin I.N., Dzyuba E.V. The results of the first hydroacoustic studies of the winter distribution of *Coregonus migratorius* in Lake Baikal. *Limnology and Freshwater Biology*, 2019, no. 3, pp. 232–235. DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-3-232.
24. Mel'nik N.G., Smirnova-Zalumi N.S., Smirnov V.V. [et al.]. *Gidroakusticheskii uchet resursov baikal'skogo omulya* [Hydroacoustic surveys of baikal omul]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2009. 244 p.
25. Gimel'khord A.A., Ginzburg L.R., Poluektov R.A. [et al.]. *Dinamicheskaya teoriya biologicheskikh populyatsii* [Dynamic Theory of Biological Populations]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 436 p.
26. Gurman V.I., Druzhinin I.P. (eds.). *Modeli prirodnnykh ekosistem* [Models of Natural Ecosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978. 229 p.
27. Gurman V.I., Moskalenko A.I. (eds.). *Optimal'noe upravlenie prirodno-ekonomicheskimi sistemami* [Optimal Management of Natural-Economic Systems]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 296 p.
28. Potapova E.V., Sukhodolov Ya.A. Harmonization of Recreational Opportunities and the Growing Tourist Flow in Baikal Nature Reserve Area. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2019, vol. 29, no. 1, pp. 7–17. DOI: 10.17150/2500-2759.2019.29(1).7-17. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Суходолов Александр Петрович — проректор по науке Байкальского государственного университета, заведующий лабораторией междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий Лимнологического института СО РАН, профессор, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: science@bgu.ru.

Федотов Андрей Петрович — директор Лимнологического института СО РАН, заведующий кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры Байкальского государственного университета, доктор геолого-минералогических наук, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: mix@lin.irk.ru.

Макаров Михаил Михайлович — старший научный сотрудник лаборатории междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий Лимнологического института СО РАН, кандидат географических наук, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: mmmsoft@hlserver.lin.irk.ru.

Аношко Павел Николаевич — научный сотрудник лаборатории междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий Лимнологического института СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: apn000@mail.ru.

Губий Елена Валерьевна — старший инженер Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: egubiy@gmail.com.

Зоркальцев Валерий Иванович — ведущий научный сотрудник лаборатории междисциплинарных эколого-экономических исследований и технологий Лимнологического института СО РАН, доктор технических наук, профессор, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: zork@isem.irk.ru.

Сорокина Полина Геннадьевна — старший преподаватель кафедры математики и информатики Байкальского государственного университета, младший научный сотрудник Лимнологического института СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: ermolaeva_polina@mail.ru.

Мокрый Игорь Владимирович — Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, кандидат технических наук, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: ygr@isem.irk.ru.

Лебедева Алина Витальевна — руководитель Школы молодых ученых, студент Института государства и права Байкальского государственного университета, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: alinal2020@mail.ru.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Математическое моделирование оценки численности байкальского омуля в системе социально-экономических и правовых аспектов экологической правонарушаемости / А.П. Суходолов, А.П. Федотов, М.М. Макаров, П.Н. Аношко, Е.В. Губий, В.И. Зоркальцев, П.Г. Сорокина, И.В. Мокрый, А.В. Лебедева. — DOI: 10.17150/2500-4255.2019.13(5).757-771 // Всероссийский криминологический журнал. — 2019. — Т. 13, № 5. — С. 757–771.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sukhodolov, Alexander P. — Vice Rector for Research, Baikal State University, Head, Laboratory of Interdisciplinary Ecology-Economy Research of Technology, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Professor, Irkutsk, the Russian Federation; e-mail: science@bgu.ru.

Fedotov, Andrey P. — Head, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Head, Chair of Water Bio-Resources and Aquaculture, Baikal State University, Doctor of Geology and Mineralogy, Irkutsk, the Russian Federation; e-mail: mix@lin.irk.ru.

Makarov, Mikhail M. — Senior Staff Scientist, Laboratory of Interdisciplinary Ecology-Economy Research and Technology, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ph.D. in Geography, Irkutsk, the Russian Federation; e-mail: mmmsoft@hlserver.lin.irk.ru.

Anoshko, Pavel N. — Staff Scientist, Laboratory of Interdisciplinary Ecology-Economy Research and Technology, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation; e-mail: apn000@mail.ru.

Gubiy, Elena V. — Chief Engineer, Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation; e-mail: egubiy@gmail.com.

Zorkaltsev, Valeriy I. — Leading Research Fellow, Laboratory of Interdisciplinary Ecology-Economy Research and Technology, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technology, Professor, Irkutsk, the Russian Federation; e-mail: zork@isem.sei.irk.ru.

Sorokina, Polina G. — Senior Lecturer, Chair of Mathematics and Computer Science, Baikal State University, Junior Researcher, Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, the Russian Federation; e-mail: ermolaeva_polina@mail.ru.

Mokry, Igor V. — Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ph.D. in Technology, Irkutsk, the Russian Federation; e-mail: ygr@isem.irk.ru.

Lebedeva, Alina V. — Head, School of Young Researchers, Student, Institute of State and Law, Baikal State University, Irkutsk, the Russian Federation; e-mail: alinal2020@mail.ru.

FOR CITATION

Sukhodolov A.P., Fedotov A.P., Makarov M.M., Anoshko P.N., Gubiy E.V., Zorkaltsev V.I., Sorokina P.G., Mokry I.V., Lebedeva A.V. Mathematical modeling of assessing the number of Baikal omul in the system of socio-economic and legal aspects of environmental law violations. *Vserossiiskii kriminologicheskii zhurnal = Russian Journal of Criminology*, 2019, vol. 13, no. 5, pp. 757–771. DOI: 10.17150/2500-4255.2019.13(5).757-771. (In Russian).