

УДК 574.5:550.461:551.21(571.66)

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ МИКРОБИОТЫ ОЗЕРА КАРЫМСКОЕ

В ПОСТВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПЕРИОД

Е.Г. Лупикина¹, Г.А. Карпов¹, В.Н. Никитина²

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006, e-mail: karpovga@kcs.iks.ru*

² *Санкт-Петербургский государственный университет, 119164, diatomspb@mail.ru*

В настоящем сообщении обобщены результаты изучения состояния альгофлоры, некоторых бактериальных сообществ и низших беспозвоночных Карымского озера по экспедиционным сборам 1996-2003 гг., полученные в процессе проведения посезонных комплексных исследований в посткатастрофический период состояния экосистемы бассейна.

Микробиота Карымского озера в 70-90-е гг. XX века являлась объектом исследований КамчатНИРО в связи с решением вопроса искусственного интродуцирования кокани (пресноводной формы тихоокеанского лосося нерки). В ходе гидробиологических работ, проводившихся под руководством И.И. Куренкова и С.И. Куренкова [7], был впервые установлен состав доминирующих форм планктонного биоценоза: фитопланктон – *Aulacosira italica* var. *subarctica*, *Asterionella gracillima*; зоопланктон – *Acanthocyclops vernalis*, *Daphnia pulex*, представлявшие начальные звенья трофической цепи. Мониторинг кормовой базы и состояния акклиматизированной популяции кокани позволили С.И. Куренкову предположить, что регулярные и обильные пеплопады вулкана Карымский на бассейн озера в середине-конце 70-х гг. выполняли в отношении продукционных процессов одновременно две противоположные функции: фертилизационную и супрессорную.

В результате мощного фреато-магматического извержения в северной части кальдеры Академии Наук (2 января 1996 г.) пресное Карымское озеро (объемом ~ 540 млн. м³, с рН = 6.8) в течение 10-14 часов превратилось в солоноватый водоем с общей минерализацией 1.4 г/л и рН = 3.2 по всей водной массе, преимущественно хлоридно-сульфатно-кальциево-натриевого состава. Температура в озере поднялась на 20-24°C [8,3,6,12,13]. Резкое нарушение равновесия термогидрохимического режима, особенно ацидофикация водной толщи (за восьмилетний период наблюдений водородный показатель увеличился на 1.8 единицы) оказало крайне негативное воздействие на гидробионтов. Детальное гидробиологическое опробование (рис.1) свидетельствовало: погибли ихтиофауна, многовековой планктонный альгоценоз (рис.2), планктонные и донные зооценозы, и к 2003 г. автохтонные группировки не восстановились. В летний период 1997-1998 гг. в водной толще литорали и сублиторали происходило массовое развитие одноклеточных форм Chlorophyta и Euglenophyta (до 17 млн.

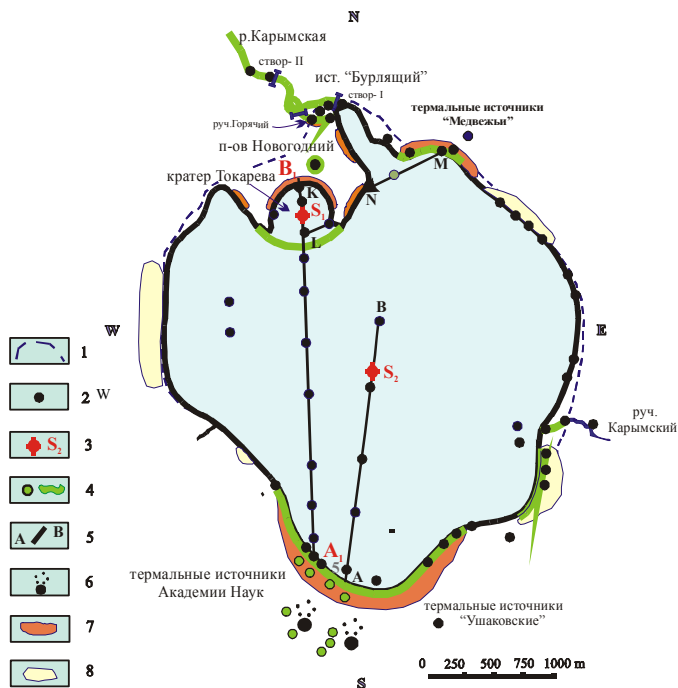


Рис.1. Схема отбора проб на оз.Карымское (1997-2003 г.г.)

Условные обозначения :

- 1 - береговая линия до подводного извержения;
- 2 - станции гидрохимического, гидрологического и биологического опробования;
- 3 - режимные станции опробования;
- 4 - места развития фито - и зооценозов;
- 5 - профили комплексных опробований;
- 6 - гейзеры;
- 7 - термальные разгрузки;
- 8 - разгрузки грунтовых вод

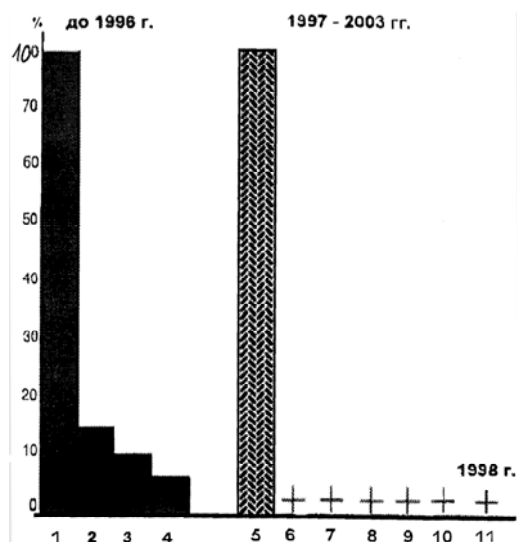


Рис. 2. Гистограмма альгофлоры Карымского озера (по данным планктонного опробования)

Bacillariophyta:

- 1 - *Aulacosira italica*;
- 2 - *Asterionella gracillima*;
- 3 - *Cyclotella bodanica* + *C. tripartita*;
- 4 - *Stephanodiscus cf. invisitatus* - в фотическом слое озера;

Chlorophyta, Euglenophyta:

- 5 - *Chlamydomonas* sp.; *Euglena* sp., *Choricystis chodatii*;

Cyanoprocaryota:

- 6 - *Mastigocladus laminosus*;
- 7 - *Synechocystis parvula*;
- 8 - *Synechococcus cf. elongatus*;
- 9 - *Gloeocapsa minuta*;
- 10 - *Phormidium* sp.sp. - в приповерхностном слое прибрежной зоны озера;

Bacillariophyta:

- 11 - *Aulacosira cf. Italica* - локально в приповерхностном слое прибрежной зоны юго-восточного сектора озера;
- ++ - единичные экземпляры

клеток/л). В это же время здесь были обнаружены физиологически ослабленные представители Bacillariophyta бентосных ассоциаций из водоемов береговой зоны, причем их численность была низкой. В 1998 г. наблюдалось локальное массовое развитие в нейстоне (при массовых скоплениях пыльцы кедрового стланника) Protozoa, одного вида *Nitzschia* (Bacillariophyta), двух видов Euglenophyta и двух видов Chlorophyta. Термальные субщелочные воды способствовали локальному развитию нитчатых Chlorophyta и Cyanophyta в прибрежной зоне северного, северо-восточного и южного секторов озера. Здесь же с 1998 г. происходит локальное развитие беспозвоночных. Если в прибрежных пробах 1997 г. из беспозвоночных была обнаружена коловратка *Cephalodella gibba* [1], то в дальнейшем прибрежная фауна от-

личалась относительным разнообразием, и была представлена, в основном, разными видами группы червей (Nematoda, Oligocheta, Turbellaria, Rotatoria) [8]. К выходам термальных вод приурочены альгобактериальные маты, сформированные большей частью представителями Cyanoprocarvota, среди которых наиболее распространенными являются *Mastigocladus laminosus* (круг форм), *Phormidium laminosum*, *Ph. foveolarum*, *Lyngbya perelegans*, *Leptolyngbya tenuis*, *Synechococcus elongatus* [11]. Наиболее оптимальные условия для их развития имеются в южном, северном и северо-восточных секторах озера (в последних двух из перечисленных до 1996 г. развитие цианофицел не отмечалось).

Бентосные озерные ассоциации водорослей представлены к 2003 г. группировками эпифитона, эпилитона, перифитона [9]; в последней доминирует *Microspora stagnorum* (Chlorophyta) с сопутствующими ей представителями водорослей других отделов, большая часть которых представляется ксенобионтами в названном альгоценозе (см. ниже перечень). Бентосные группировки начали формироваться в верхней части литорали озера близ устьев ручьев при pH = 4.8-5.0. Их систематический состав довольно разнообразен, но не постоянен и зависит от сильного ветрового перемешивания прибрежных вод и взмучивания тонких фракций отложений.

Наиболее примечательной сукцессией в альгофлоре озера явилось массовое развитие наннопланктонного представителя Chlorophyta – *Choricystis chodattii* в марте-августе 2003 г.; его численность весной в интервале глубин 0-30 м в прицентральной части подводного кратера Токарева и самого озера достигала соответственно 62 и 60 млн. клеток/л. Не исключено, что именно развитие названного планктонера обуславливает повышение содержания кислорода в слоях его максимального концентрирования (рис.3).

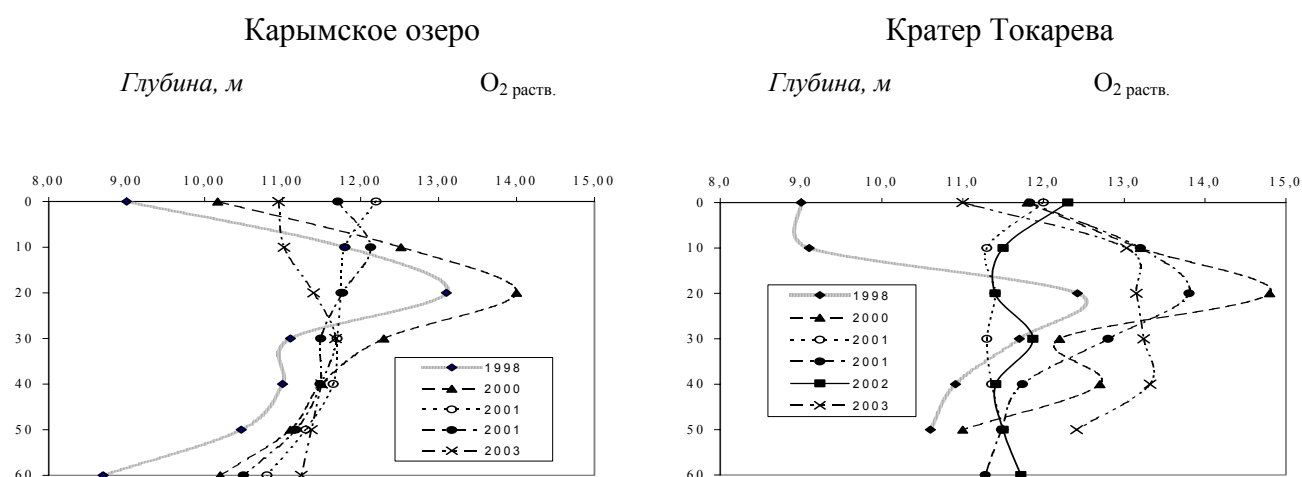


Рис.3. Распределение растворенного кислорода в вертикальном профиле Карымского озера и кратера Токарева за период наблюдений 1998-2003 гг.

В целом, основные альгологические ассоциации в оз. Карымское на восьмой год посткатастрофического эпизода имеют аллохтонный характер [10]. Кратко охарактеризованные

выше группировки до 1996 г. не наблюдались гидробиологами КамчатНИРО. Заселение литорали озера микробиотой идет из мелких водоемов пляжной зоны по скрытому стоку и по ручьевым стокам. По всей вероятности ныне планктонный в озере *Choricystis chodattii* вселился в озеро из эдафического биотопа. После 1996 г. основным супрессионным фактором развития микробиоты оз. Карымское представляется значительная ацидификация водной толщи.

Закисление воды Карымского озера произошло, по-видимому, как за счет поступления в воду серусодержащих флюидов непосредственно во время извержения, так и за счет вымывания воднорастворимых сульфатных комплексов из изверженных пород, попавших в озерный бассейн и отложившихся вокруг него. Опреснение и повышение рН воды озера идет очень медленно. Можно предположить, что лишь с поступлением в бассейн озера достаточно большого количества CO_2 (с атмосферными осадками или за счет глубинных газов) процесс закисления затормозится. Судя по темпам этого процесса, восстановление воды озера (по минерализации и рН) до уровня, предшествующего извержению, произойдет не ранее, чем через 5-6 лет.

Влияние содержаний тяжелых металлов в водной толще озера [6] на развитие микробиоты изучено слабо. Нами обнаружена мышьяковая и медно-цинковая специализация гидротерм, разгружающихся в зоне субмеридионального разлома, секущего озеро Карымское [5]. В илово-песчаных донных отложениях фиксируется до 388 г/т As, до 84 г/т Cu, до 59 г/т Zn, а также V, Sr, Pb [4]. На настоящем этапе исследований сравнительные литературные данные по содержанию тяжелых металлов в названных в настоящем сообщении видах отсутствуют. Но, судя по физиологическому состоянию клеток и скорости формирования матов, цианопрокариоты альгобактериальных ассоциаций термопроявлений Карымского озера обладают значительной толерантностью по отношению к повышенным содержаниям ряда тяжелых металлов в воде (предварительные выводы).

Алфавитный перечень ксенобионтных и условно ксенобионтных представителей

Суанопросаргота и водорослей озера Карымское в посткатастрофический период 1997-2003 гг. (оценки обилия по 6-балльной шкале)

Суанопросаргота (ксенобионты): 1997 - 1. *Isocystis pallida* Woronich. – 1 (здесь и далее – максимальные оценки обилия по 6-балльной шкале); 2. *Lygbya bipunctata* Lemm. – 2; 3. *Mastigocladus laminosus* f. *typica* Cohn – 1; 4. *Anabaena* cf. *oscillarioides* f. *torulosa* (Lagerh.) Elenk. – 1; 5. *Aphanothece* cf. *saxicola* f. *minutissima* (W. West) Elenk. – 2; 6. *Gloeocapsa punctata* Näg. ampl. Hollerb. – 3; 7. *Gloeothece palea* (Kütz.) Rabenh. – 6; 8. *Isocystis salina* Iwan. – 2; 9. *Lep- tolynglya tenuis* (Menegh. ex Gom.) Anagn. et Kom. – 1-2; 10. *L. perelegans* Lemm. – 2; 11. *Oscil-*

latoria amphibia Ag. – 3. **1998** – 12. *O. proboscidea* Gom. – 2; 13. *O. tenuis* Ag. – 2; 14. *O. terebriformis* (Ag.) Elenk. – 3; 15. *O. terebriformis* f. *preudogrunowiana* Elenk. et Kossinsk. – 2; 16. *Phormidium ambiguum* Gom. – 3; 17. *Ph. laminosum* (Ag.) Gom. – 6; 18. *Ph. valderiae* (Delp.) Geitl. – 4; 19. *Pseudanabaena galeata* Böcher – 1; 20. *Pseudanabaena catenata* Lauterb. – 1; 21. *Synechocystis aquatilis* Sauv. – 3; 22. *S. minuscula* Woronich. – 3-4; 23. *Calothrix* cf. *thermalis* (Schwabe) Hansg. – 2; 24. *Leptolyngbya angustissima* (W.et. G.S.West) Anagn.et Kom. (*Phormidium angustissimum* W. et G.S. West) – 4; 25. *L. halophila* Hansg. – 2; 26. *L. perelegans* Lemm. – 2; 27. *Mastigocladus laminosus* f. *anabaenoides* B-Peters. – 2-3. **1999** – 28. *M.laminosus* f. *aulosiroides* – 3; 29. *M. laminosus* f. *lyngbyoides* – 3; 30. *M.laminosus* f. *phormidioides* B.-Peters. – 2; 31. *Nostoc linckia* (Roth.) Born. – 2-3; 32. *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gom. – 2; 33. *Schizothrix fragilis* (Kütz.) Gom. – 2; 34. *Synechococcus inuscule* Näg. – 5; 35. *Anabaena* sp. – 2; 36. *Chroococcus* sp. – 4. **2002** – 37. *Cylindrospermum stagnale* (Kütz.) Born et Flah. – 2; 38. *Leptolyngbya amplivaginata* (Van Goor) Anagn. et Kom. – 4; 39. *L. foveolarum* (Rabenh. ex Gom.) Anag. et Kom. – 2; 40. *L. laminosa* (Ag. ex Gom.) Anagn. et Kom. – 6; 41. *L. tenuis* (Gom.) Anagn. et Kom. – 6; 42. *Limnothrix amphigranulata* (Van Goor) Meffert –4; 43. *L. major* Menegh. – 2; 44. *Mastigocladus laminosus* f. *castenholzii* Nikit. – 6; 45. *M. laminosus* f. *phormidioides* B.-Peters. – 6; 46. *Microcoleus chthonoplastes* (Mert.) Zanard . ex Gom. – 4; 47. *M. sociatus* W.et G.S. West – 4; 48. *Oscillatoria princeps* Vauch. – 6; 49. *Phormidium* aff. *molle* (Kütz.) Gom. – 1; 50. *Ph. breve* (Kütz. ex Gom.) Anagn. et Kom. – 2; 51. *Ph .terebriforme* (Ag. ex Gom.) Anagn. et Kom. – 2-6.

Chlorophyta (ксенобионты): **1997** – 52. *Cosmarium* sp. – 1; 53. *Scenedesmus* sp. – 1-2; 54. *Enteromorpha* cf. *intestinalis* (L.) Link. – 5. **1998** – 55. *Microspora* cf. *timidula* Hazen – 2; 56. *Monoraphidium* sp. – 2; 57. *Scenedesmus quadricauda* Bréb. – 1; 58. *Ulothrix tenuissima* Kütz. – 5. **1999** – 59. *Stigeoclonium* sp. – 1; 60. *Gen. sp. sp.* – 3. **2001** – 61. *Microspora stagnorum* (Kütz.) Lagerch. – 4-6. **2002** – 62. *Ulothrix* sp. (уродливые формы) – 1. **2003** – 63. *Choricystis chodatii* (Jaag) Fott – 6.

Xanthophyta (ксенобионты): **1998** – 64. *Tribonema* sp. – 1.

Euglenophyta (ксенобионты): **1997-1998** – 65. *Euglena* cf. *tripteris* (Duj) Klebs – 1-2; 66. *Lepocinclis* sp. – 1-2; 67. *Trachelomonas* sp₁. – 1-2; 68. *Trachelomonas* sp₂. – 1-2.

Bacillariophyta (условные ксенобионты): **1997** – 69. *Cocconeis placentula* Ehr. – 1-2; 70. *Fragilaria brevistriata* Grun. – 1-2; 71. *Fragilaria* cf. *virescens* Ralfs – 1-2; 72. *Staurosira construens* (Ehr.) Will. et Round var. *construens* – 1-2; 73. *Synedra ulna* var. *amphirhynchus* (Ehr.) Grun. – 1; 74. *Eunotia exigua* (Bréb.) Rabenh. – 1-4; 75. *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm. – 1-2; 76. *Nitzschia* sp. – 1. **1998** – 77. *Pinnularia gentilis* (Donk.) Cl. – 1-4; 78. *P. microstauron* (Ehr.) Cl. – 1-4; 79. *P. subcapitata* Greg. – 1-2; 80. *P. viridis* (Nitzsch) Ehr. – 1-2. **1999** – 81. *Achnanthes* cf. *linearis* (W.Sm.) Grun. – 1-2; 82. *A. minutissima* Kütz. – 1-3; 83. *Melosira varians* Ag. – 1; 84.

Navicula veneta Kütz. – 1-2. **2002** – 85. Achnanthes exigua Grun. var. exigua – 1-4; 86. A. lanceolata f. capitata O.Müll. – 1-3; 87. A. lanceolata var. elliptica Cl. – 2; 88. A. lanceolata (Bréb.) Grun. var. lanceolata – 1-5; 89. A. lanceolata var. minuta (Skv.) Sheshuk. – 1; 90. A. lanceolata ssp. rostrata (Oestr.) Lange-Bertalot – 1; 91. Amphora veneta Kütz. var. veneta – 1-5; 92. Aulacosira italica (Kütz) Simonsen – 1; 93. Caloneis bacillum (Grun.) Cl. – 1-4; 94. Cymbella cistula (Ehr.) Kirchner. var. custula – 1; 95. C. minuta Hilse ex Rabenh. (=C. ventricosa Kütz. var. ventricosa) – 1-2; 96. Diatoma hiemale (Lyngb.) Heib. var. hiemale – 1-3; 97. D. hiemale var. mesodon (Her.) Grun. – 1-4; 98. Fragilaria vaucheriae (Kütz.) J.B.Petersen (= Synedra vaucheriae Kütz.) – 1-3; 99. Frustula vulgaris (Thw.) D.T. – 1; 100. Gomphonema angustatum (Kütz.) Rabenh. var. angustatum – 1; 101. G. angustatum (Kütz.) Rabenh. var. productum Grun. – 1; 102. G. constrictum var. capitatum (Ehr.) Cl. – 1; 103. G. olivaceum (Lyngb.) Kütz. var. olivaceum – 1; 104. Luticola mutica (Kütz.) D.G. Mann – 1; 105. Navicula halophila (Grun.) Cl. – 1; 106. N. pupula Kütz. var. pupula – 1; 107. N. radiosa Kütz. var. radiosa – 1; 108. N. veneta Kütz. (= N. cryptocephala v. veneta (Kütz.) Rabenh.) – 1-6; 109. Neidium ampliatum (Ehr.) Krammer (=N. iridis f. vernaes Reich.) – 1-3; 110. Nitzschia amphibia Grun. – 1-4; 111. N. communis Rabenh. – 1-2; 112. N. cf. palea (Kütz.) W. Sm. – 1-4; 113. N. aff. recta Hantzsch. – 1; 114. N. sigma (Kütz.) W. Sm. – 1-5; 115. Pinnularia gibba Ehr. – 1-3; 116. Rhopalodia musculus (Kütz.) O. Müll. var. musculus – 1; 117. Staurosira construens var. venter (Ehr.) Hamilton (= Fragilaria construens var. venter (Ehr.) Grun.) – 1; 118. Staurosirella pinnata (Ehr.) Williams et Round – 1; 119. Surirella brebissonii var. kuetzingii Krammer et Lange-Bertalot (= S. ovata Kütz. var. ovata) – 1; 120. Tabularia tabulata (Agardt) Snoeijs – 1.

Chrysophyta: **2002** – 121. Chrysomonadae (цисты).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ДВО РАН № 03-3-A-05-063 «Восстановление биоты в посткатастрофический период извержений вулканов».

Список литературы

1. Бонк Т.В. Коловратки – животные-первопоселенцы оз. Карымское, стерилизованного извержением вулкана Академии Наук в 1996 г. Первая международная научная конференция «Вулканизм и биосфера». Туапсе. 1998. С.66.
2. Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф. Гидротермы Карымского озера после подводного извержения 1996 г. // Вулканонология и сейсмология. 1998. № 2. С.3-27.
3. Вергасова Л.П., Карпов Г.А., Лупкина Е.Г., Андреев В.И., Надежная Т.Б. Постэруптивная деятельность в кальдере Академии Наук (Камчатка): минеральные новообразования, содержание радона в спонтанных газах и биотические изменения // Вулканонология и сейсмология. 1998. № 2. С.49-65.

4. Карпов Г.А., Бортникова С.Б., Кузьмин Д.Ю., Андреев В.И., Николаева А.Г. Геохимия гидротерм кальдеры Академии Наук (Камчатка) // Гидрология и геохимия вод складчатых областей Сибири и Дальнего Востока. Сб. мат. Совещания 11-15 августа 2003. Владивосток: Дальнаука. 2003. С.108-117.
5. Карпов Г.А., Лупикина Е.Г., Чуюн Г.Н., Бортникова С.Б., Байков А.И., Андреев В.И., Кузьмин Д.Ю., Николаева А.Г. Особенности седиментации в кальдерных структурах вулканических поясов зоны перехода континент-океан как индикаторы нефтегазоносности (Камчатка). Материалы Всероссийского совещания «Геодинамика, магматизм и минерализация континентальных окраин севера Пацифики». 3-6 июля 2003 г. Магадан. Т.2. С.54-56.
6. Карпов Г.А., Лупикина Е.Г. Экологическое состояние реки Карымской (Карымский вулканический центр, Камчатка). Тез. докл. на третьей Туапсинской международной конференции «Вулканизм, биосфера и экологические проблемы». Туапсе. 2003. С. 82-83.
7. Куренков С.И. Результаты интродукции кокани в Карымское озеро // Генетические и экологические проблемы разведения лососевых рыб. Сб. научн. тр. госНИОРХ. Вып. 228. Л.: Промрыбвод. 1985. С.98-104.
8. Лупикина Е.Г., Бонк Т.В. Структурные изменения фито- и зоопопуляций бассейна Карымского озера (Камчатка), вызванные подводным фреато-магматическим извержением. Тез. докл. VIII съезда гидробиологического общества РАН. Т.1. Калининград. 2001. С.251-252.
9. Лупикина Е.Г., Жаковщикова Т.К. Диатомовые водоросли – растения-первопоселенцы оз. Карымское посткатастрофического периода. Материалы IV научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский. 2003. С.65-67.
10. Лупикина Е.Г., Карпов Г.А. Альгосукцессии Карымского озера (итоги семилетних наблюдений влияния фреато-магматического извержения) / Сб. Вулканизм, биосфера и экологические проблемы. Мат. III международной научной конференции. Туапсе. 2003. С.83-84.
11. Лупикина Е.Г., Никитина В.Н., Карпов Г.А. Некоторые сведения об альгофлоре Карымского озера. Материалы II научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский. 2001. С.63-65.
12. Фазлуллин С.М., Ушаков С.В., Шувалов Р.А., М. Аоки, Николаева А.Г., Лупикина Е.Г. Подводное извержение в кальдере Академии Наук (Камчатка) и его последствия: гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С.19-32.

13. Федотов С.А., Озеров А.Ю., Магуськин М.А., Иванов В.В., Карпов Г.А., Леонов В.Л., Двигало В.Н., Гриб Е.Н., Андреев В.И., Лупикина Е.Г., Овсянников А.А., Будников В.А., Бахтиаров В.Ф., Левин В.Е. Извержения Карымского вулкана в 1998-2000 гг., связанные с ним сейсмические, геодинамические и поствулканические процессы, их воздействие на окружающую среду. Т.1. Вулканизм. М. 2000. С.154-160.