

ФИТОЛИТНЫЙ АНАЛИЗ. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ МИКРОБИОМОРФНЫХ И ПАЛЕОБОТАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 582.232/.275:504.4.054(1-924.8)

Об откликах диатомовой флоры межледниковий и сообществ микроводорослей современных водоемов на глобальные климатические изменения

On responding of interglacial diatoms and contemporary micro algae to global climate changes

Анциферова Г. А.

Antsiferova G. A.

*Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия. E-mail: g_antziferova@mail.ru
Voronezh state university, Voronezh, Russia*

Реферат. Состав сообществ диатомовых водорослей древних водоемов меняется в зависимости от смены климатов и ландшафтов, происходящих в течение межледниковий. Одновременно на функционирование водных экосистем влияют процессы аккумуляции и деструкции органического вещества, заполнение озерной котловины осадками, что сопровождается сменой режимов трофности вод. В современных водоемах в условиях глобальных климатических изменений изучен отклик сообществ микроводорослей, например, на аномально высокие летние температуры воздуха в 2010–2012 гг., который проявился в смене их таксономического и экологического составов.

Summary. Species composition of diatoms in ancient basins was changing along climate and landscapes during interglacial period. Existence of water ecosystems were also dependent on accumulation and decomposing of organic matter as well as compensation of lake depression by sediment that changed trophic regimes. Microalgae in contemporary lakes are exposed to global climate regime that reflects fluctuations in both taxonomic and ecological composition. It's response on abnormally high summer temperatures was studied on an example of data set obtained in 2010–2012.

Развитие природного процесса в плейстоцене связано с чередованием эпох оледенений и межледниковий. На территории на Окско-Донской низменной равнине в краевой зоне раннеплейстоценового донского оледенения в экзарационно-аккумулятивных котловинах, связанных с переуглублением речных долин, начиная со времени позднедонского ледниковья – начала раннемучкапского межледниковья, развивались озера. На основе комплексного изучения плейстоценовых отложений выделяется Польнолапинский страторайон раннеплейстоценового мучкапского межледниковья (Шик, Маудина, 1979). Древнеозерные отложения в разрезе Польное Лапино в Тамбовской области в скважине 105 описаны Г. А. Анциферовой и Г. В. Холмовым в 1978 году (Анциферова, 2001).

На примере исследования древнеозерных отложений, накопление которых происходило в Польнолапинском озере, прослежена эволюция осадконакопления. Она отражает процесс, связанный с изменениями климато-ландшафтных обстановок на водосборной территории, где в течение десятков тысяч лет географические зоны сменяли друг друга (Анциферова, 2001, 2005, 2014).

В позднеледниковых условиях были распространены перигляциальные тундры и тундро-степи, перигляциальные редколесья. Они постепенно сменялись сосново-березовыми лесами. В предоптимальное время уменьшалось распространение сосны и березы, появлялись широколиственные леса, которые в оптимум межледниковья сменялись дубравами. В климатических условиях, предшествующих оптимуму межледниковья и в климатическом оптимуме в Польнолапинском озере происходило карбонато- и кремненакопление. Источником биогенных веществ были моренные отложения мощно-

стью до 30–32,5 м, слагающие водосборы. Это были условия, благоприятные для развития диатомовых водорослей и формирования мощных толщ диатомитов и диатомитовых мергелей. Далее в постоптимальное время климатические условия развивались в соответствии с понижением теплообеспеченности и увеличением влагообеспеченности. Постепенно вновь начинали превалировать сосново-березовые леса в позднем межледниковье, и затем в раннем ледниковье – лесотундры и тундры.

На основе спорово-пыльцевых материалов и использования диатомового анализа проведены реконструкции условий функционирования межледникового озера как отражение отклика водной экосистемы на глобальные климатические изменения. В основу выявления переходов водной экосистемы через критические состояния, связанные со сменой режимов трофности, положены изменения таксономической и экологической структуры сообществ фитопланктона. Палеоботанические методы (диатомовый и спорово-пыльцевой) показывают тесную взаимосвязь между изменениями климата и ландшафтных обстановок и сменой этапов и фаз развития озер.

Исследованиями Е. Ю. Новенко, связанными с развитием природного процесса в позднем плейстоцене и голоцене, в основу которых положен спорово-пыльцевой анализ, прослежена реакция ландшафтных компонентов на короткопериодные и резкие климатические изменения и установлена их прямая взаимообусловленность (Новенко, 2016). Ее построения находят подтверждение в развитии водных экосистем и проявляются в откликах сообществ диатомовой флоры, в частности, на примере раннеплейстоценового мучкапского озера.

Эволюция озерного осадконакопления связана как с изменением общеклиматических условий, так и с природными процессами, происходящими в водных экосистемах. Они обусловлены образованием и аккумуляцией органического вещества, его деструкцией и редуцированными процессами, направленными на преобразование органики до минерального вещества. Данная последовательность функционирования водной экосистемы характеризует смену режимов трофности водоемов: олиготрофный – мезотрофный – эвтрофный.

Изучение межледниковых озерных отложений доказывает, что климатические изменения находят отражение в изменении гидрологического режима водоема. Это фиксируется в структурных перестройках сообществ древнеозерных диатомовых водорослей. Для глубоководных и среднеглубоких условий характерно широкое распространение пелагических планктонных видов диатомовых водорослей. При обмелении водоема распространялись виды, связанные с зарослями высшей водной растительности на мелководьях.

На примере скважины 105 разреза Польное Лапино установлено, что наиболее выраженными являются изменения гидрологического режима в условиях донского позднеледниковья (этап I) и в начале мучкапского межледниковья, когда устанавливаются понижение (фаза IIb) и повышение (фаза IIc, d) уровня водного зеркала. На III этапе озеро развивалось в условиях климатического оптимума. По соотношению групп диатомей по местообитанию фиксируется общее резкое понижение уровня вод, но при этом характерным является видовое разнообразие и сходство состава сообществ планктонных диатомей, в целом условия обитания были достаточно стабильными. И предпосылки для качественного перехода из олиготрофного режима трофности в мезотрофный накапливались постепенно. Однако на IV этапе (фазы a–e) развития уже эвтрофного озера прослеживаются резкие колебания уровня водоема на фоне общего его обмеления. Особенно выразительными эти изменения были на заключительные фазы развития (IVc–e), когда происходили короткопериодные и резкие климатические изменения. В неглубоком водоеме в условиях более теплых климатических интервалов в сравнении с общим понижением температурного фона конца межледниковья, происходило зарастание водоема, повышение объемов органического вещества за счет отмирающей в конце сезона вегетации растительности, что обуславливало нарушение процессов самоочищения вод, и в целом устойчивость водной экосистемы

Для этого этапа развития водоема характерна смена литологических разностей осадков. Озерные отложения представлены диатомитовым мергелем, алевролитом, глинами, что также подтверждает колебания гидрологического режима. Для данного этапа развития водоема характерна вспышка развития холодолюбивых видов. Одновременно состав диатомовых водорослей обедняется в видовом отношении, их сообщества становятся однообразнее. Это свидетельствует о направленном обмелении и зарастании водоема, его эвтрофировании.

При повышении уровня вод доминировали планктонные виды. Это *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim., *A. islandica* ssp. *helvetica* (O. Müll.) Sim. и в отдельных пробах *Ellerbeckia arenaria* (Moore ex Ralfs) Grawford. Наблюдаются *Stephanodiscus rotula* (Kütz.) Hendeу с разновидностями, *S. peculiaris* Khurs., *S. niagarae* Ehr. При кратковременном понижении уровня воды развивались виды обрастатели, главным образом, рода *Fragilaria* Lyngb. В составе донных диатомей *Amphora ovalis* Kütz. с разновидностями, *Navicula scutelloides* W. Sm., *N. menisculus* Schum., *Cymbella diluviana* (Krasske) Florin, *Caloneis formosa* var. *holmiensis* Cl.

Ретроспективный анализ развития озерного осадконакопления доказывает, что сообщества диатомовых водорослей достаточно чутко реагируют на климатические изменения и на процессы, происходящие в водоеме. Это представляется чрезвычайно важным для достоверного прогноза функционирования водных экосистем в современную эпоху глобальных климатических изменений.

С этой целью были изучены озера Рамза и Кипец, расположенные в пределах государственного природного заповедника «Воронинский» (Тамбовская область). Они представляют собой озеровидные расширения русла р. Ворона, правого притока р. Хопер. По трофическому статусу водоемы являются эвтрофными мелководными и среднеглубокими, с широко развитыми зарослями высшей водной и водно-погруженной растительности, которые отличает проточно-руслевой гидродинамический режим. Для них характерны уникальные по видовому разнообразию сообщества диатомовых водорослей и цианобактерий.

На примере этих водоемов прослежен отклик сообществ микроводорослей водных экосистем в условиях глобальных климатических изменений на кратковременную температурную флуктуацию, обусловленную аномально высокими летними температурами воздуха в 2010–2012 гг. Они отразились на таксономическом и экологическом составе сообществ фитопланктона и микрофитобентоса.

Среди диатомовых водорослей повсеместно распространены таксоны, характерные для достаточно чистых вод, что собственно и соответствует классу и разряду качества поверхностных вод заповедника. Широко распространены такие виды как *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *S. rotula* (Kütz.) Hendeу, *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Krammer, *A. italica* (Ehr.) Grun. et var. *tenuissima* (Grun.) Sim., *A. granulata* (Ehr.) Sim., *A. islandica* ssp. *helvetica* (O. Müll.) Sim., *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round, *Melosira varians* Ag., *Fragilaria crotonensis* Kitt., W. Sm., *Asterionella gracillis* (Hantzsch.) Heib., *Synedra berolinensis* Lemm., *Fragilaria construens* var. *venter* (Ehr.) Grun. et var. *venter* (Ehr.) Grun., *F. brevistriata* Grun., *Tabellaria flocculosa* (Roth.) Kütz., *Eunotia lunaris* (Ehr.) Grun., *E. bigibba* Ehr., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. et var. *aequalis* (Kütz.) Hust., *S. tabulata* (Ag.) Kütz., *Navicula anglica* Ralfs., *N. bacillum* Ehr., *N. bicapitata* Hust., *N. cari* Ehr., *N. cuspidata* Kütz. et var. *ambigua* (Ehr.) Grun. et var. *hankae* Skv. et f. *craticularis* Skv., *N. cryptocephala* Kütz., *N. crucicula* (W. Sm.) Donk., *N. hungarica* Grun. et var. *capitata* Cl., *N. gastrum* Ehr. et var. *limnetica* Skv., *N. lacustris* var. *elongata* Skv. et Mayer, *N. oblonga* Kütz., *N. pupula* Kütz. et var. *rectangularis* (Greg.) Grun., *N. platystoma* Ehr., *N. placentula* (Ehr.) Grun. et f. *latiuscula* (Grun.) Meist. et var. *rostrata* A. Mayer, *N. pusio* Cl., *N. radiosa* Kütz., *N. tuscula* (Ehr.) Grun., *Gomphonema augur* Ehr., *G. acuminatum* var. *coronatum* (Ehr.) W. Sm. et var. *trigonocephala* (Grun.) Cl., *G. constrictum* Ehr., *G. intricatum* Kütz. et var. *pumilum* Grun., *G. olivaceum* (Lyngb.) Kütz., *G. sphaerophora* Ehr., *G. parvulum* (Kütz.) Grun., *Epithemia sorex* Kütz. et var. *gracilis* Hust., *E. intermedia* Fricke, *E. zebra* (Ehr.) Kütz. et var. *porcellus* (Kütz.) Grun. et var. *saxonica* (Kütz.) Grun., *E. turgida* (Ehr.) Kütz. et var. *granulata* (Ehr.) Grun., *Cymbella ventricosa* Kütz., *C. leptoceros* (Ehr.) Grun., *C. cistula* (Hemp.) Grun. et var. *maculata* (Kütz.) V. H., *C. turgida* (Greg.) Cl., *C. ventricosa* Kütz., *C. cymbiformis* (Ag.? Kütz.) V. H., *C. microcephala* Grun., *C. tumida* (Bréb.) V. H., *C. norvegica* Grun., *C. obtusiuscula* (Kütz.) Grun., *C. hybrida* Grun., *Stauroneis anceps* Ehr. et f. *gracilis* (Ehr.) Cl., *Achnanthes munitissima* Kütz., *Nitzschia acicularis* W. Sm., *N. subtilis* (Kütz.) Grun., *N. sublinearis* Hust., *Cocconeis pediculus* Ehr. et var. *minutissima* Poretzky, *C. placentula* Ehr. et var. *aegyptia* (Ehr.) Cl. et var. *intermedia* (Herib. et Perag.) Cl. et var. *rouxii* (Brun. et Perag.) Cl., *Denticula tenuis* Kütz., *D. elegans* Kütz., *Rhopalodia gibba* (Ehr.) O. Müll. et var. *ventricosa* (Ehr.) Grun., *Amphora ovalis* Kütz. et var. *libyca* Kütz. et var. *gracilis* Ehr., *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabenh., *G. attenuatum* (Kütz.) Rabenh., *G. scalpoides* (Rabenh.) Cl., *Cymatopleura solea* (Bréb.) W. Sm. et var. *apiculata* (W. Sm.) Ralfs и многие другие.

В отличие от межледниковых озер, в современных водах в сообществах фитопланктона и микрофитобентоса возможно изучение цианобактерий. Они разнообразны в видовом отношении. И сле-

дует отметить, что именно они более чутко реагируют на экстремально высокие летние температуры 2010–2012 гг. Повсеместно с оценками обилия «в массе» и «очень часто» в течение всех лет исследований наблюдаются *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gom., *Spirulina jenneri* (Hass.) Kütz. В 2010–2014 гг. их видовое разнообразие увеличилось. В их составе распространились виды, характерные для загрязненных местообитаний. Например, в озерах Рамза и Кипец распространились также такие виды как *Anabaena constricta* (Szaf.) Geitl., *Anabaena solitaria* Klebs, *Aphanothece clathrata* W. et G. S. West, *Ostillatoria lauterbornii* Schmidle, *Ostillatoria princeps*, *Ostillatoria putrida* Schmidle. С оценками обилия «часто» и «нередко» распространены *Microcystis aeruginosa* f. *pseudofilamentosa* (Crow) Elenk., *Microcystis ichtyoblabe* Kütz., *Aphanothece stagnina* (Spreng.) B.-Peters. et Geitl., *Ostillatoria agardhii* Gom., Vauch., *Ostillatoria simplicissima* Gom., *Ostillatoria splendida* Grev., *Ostillatoria tenuis* Ag., *Phormidium molle* (Kütz.) Gom., *Phormidium uncinatum* (Ag.) Gom. и др. В оз. Кипец в заливах Мохов Угол и Кипец с оценками обилия «в массе» развит вид *Ostillatoria coeruleusis* Gicklh.

Многие из них являются теплолюбивыми видами, характерными для горячих источников, водоемов Средней Азии (Бухара). Эти чуждые для региона виды исчезли из состава сообществ при восстановлении среднестатистических температурных параметров. Распространение видов загрязненных местообитаний явилось следствием того, что высокотемпературные стрессовые условия способствовали образованию больших объемов органического вещества, при недостаточно полной его переработки и минерализации. Оно образуется как за счет органики отмершей высшей водной растительности, так и массовых скоплений опускающихся на дно в конце вегетации остатков цианобактерий (Анциферова, Русова, 2017).

Режим особо охраняемой природной территории способствует сохранению экологического благополучия водных экосистем заповедника. Проточно-руслловые озера отличает многообразие местообитаний и высокое экологическое качество вод. Это позволяет выявить и проследить отклик сообществ фитопланктона и микрофитобентоса на изменившиеся природные условия, направленный на поддержание устойчивости экосистем проточно-руслловых озер. Состояние кризисности водных экосистем и состояние процессов самоочищения свидетельствует об обратимости происходящих в них процессов. В то же время подчеркивает экологическую опасность антропогенного загрязнения вод в условиях современной эпохи глобальных климатических изменений. При потеплении климата следует ожидать широкого распространения цианобактерий загрязненных местообитаний, поскольку загрязнение вод органикой, образующейся в водоеме, и антропогенное загрязнение будут проявляться совместно и обуславливать «цветение» вод цианобактериями.

ЛИТЕРАТУРА

Анциферова Г. А. Эволюция диатомовой флоры и межледникового озерного осадконакопления центра Восточно-Европейской равнины в неоплейстоцене // Тр. НИИ Геологии ВГУ. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2001. – Вып. 2. – 198 с.

Анциферова Г. А. Биоиндикация в геоэкологии: об эвтрофировании межледниковых, голоценовых и современных поверхностных водных систем бассейна Верхнего Дона // Вестник Воронежского университета. Геология, 2005. – № 1. – С. 240–250.

Анциферова Г. А. Межледниковые озера центра Восточно-Европейской равнины. Палеоэкология, осадконакопление и эволюция диатомовой флоры. – Saarbrücken, Deutschland: Изд-во Palmarium Academic Publishing, 2014. – 368 с.

Анциферова Г. А., Русова Н. И. Долгосрочные последствия влияния аномально высоких летних температур воздуха 2010–2012 годов на водные экосистемы лесостепной зоны // Вестник Воронежского университета. Серия: География. Геоэкология, 2017. – № 2. – С. 5–12.

Новенко Е. Ю. Растительность и климат центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене. Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора наук, 2016. – 50 с.

Шик С. М., Маудина М. И. Рославльские межледниковые озерные отложения Окско-Донской равнины // Проблемы антропогена центральных районов Русской платформы. – Воронеж, 1979. – С. 42–58.