

ВЗАИМОСВЯЗЬ УСТОЙЧИВОСТИ К ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И НЕКОТОРЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У КУКУРУЗЫ.

Клименко Оксана Анатольевна

Канд.биол.наук, старший научный сотрудник

Институт генетики, физиологии и защиты растений

г.Кишинев, Республика Молдова

[DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.60.13-17](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.60.13-17)

THE RELATIONSHIP BETWEEN COLD TOLERANCE AND SOME QUANTITATIVE CHARACTERS OF MAIZE.

Climenco O.A.

Senior Research Scientist

Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection,

Chisinau, Republic of Moldova.

АННОТАЦИЯ.

Выявлена достоверная зависимость всхожести семян кукурузы (после обработки пониженными температурами) от фактора «генотип». Самые высокие значения этого признака были отмечены у гибридов F₁ Л1866xCo125, Р343хЛ276, Р343хF2, Р346хA285 (98,53%, 94,13%, 93,61%, 92,5%, соответственно). Определены коэффициенты наследуемости и корреляции признаков «длина проростка» и «длина корешка». Коэффициенты наследуемости отцовских генотипов у гибридов Р343хA285, Р343хF2, Р343х Л276, Р343хР346 по признакам «всхожесть семян», «длина проростка», «длина корешка» составили 0,53*, 0,97*, 0,77*, соответственно. Отмечено, что изменчивость количественных признаков у изученных генотипов кукурузы также достоверно определялась фактором «генотип» (от 77% до 94%). Корреляционный анализ выявил достоверные связи количественных признаков растения с признаками «длина проростка» и «длина корешка» после холодового стресса. В частности, у гибрида F₁ Р346хР343 оба признака устойчивости к холodu достоверно положительно коррелировали с признаком «высота растения» ($r=0,68^*$, $r=0,75^*$, соответственно). Отобраны генотипы более устойчивые к стрессу и с наибольшими значениями количественных признаков - это инбредные линии A285 и Р343, а также гибриды F₁ Co125хЛ1866, Л1866хР343, Р343хA285, Р343хЛ276.

ABSTRACT.

The significant dependence of seed germination (after low temperature stress) from the factor „genotype” was determined. For F₁ hybrids Л1866xCo125, Р343хЛ276, Р343хF2, Р346хA285 the highest values of this character were registered (98,53%, 94,13%, 93,61%, 92,5%, respectively). The coefficients of heritability and correlation of such characters as „seedling length” and „root length” were calculated. Heritability coefficients of paternal genotypes for F₁ hybrids P343xA285, P343xF2, P343xЛ276, P343xP346 were 0,53*, 0,97*, 0,77*, respectively. It should be noted that the variability of quantitative characters proved to be mostly genotype-dependent (from 77% to 94%). The significant correlations between quantitative characters of plant and length of seedling and root (during seed germination after cold stress) were found. In particular, for F₁ hybrid P346xP343 the significant correlations between “seedling length”, “root length” and “plant height” were determined ($r=0,68^*$, $r=0,75^*$, respectively). The cold-resistant genotypes with high values of quantitative characters of plant (inbred lines A285, P343 and F₁ hybrids Co125хЛ1866, Л1866хР343, Р343хA285, Р343хЛ276) were selected.

Ключевые слова: кукуруза, устойчивость, пониженные температуры, семена, проростки.

Key words: maize, tolerance, low temperature, seeds, seedlings.

Введение. Оценка устойчивости генотипов кукурузы к различным абиотическим стрессовым факторам (в том числе и к пониженным температурам) является важной задачей селекции кукурузы. Изучение корреляции и наследуемости признаков устойчивости у простых гибридов кукурузы и их исходных родительских линий позволяет выделять родительские генотипы с высокими значениями коэффициентов наследуемости этих признаков. Некоторые учёные выделяют более устойчивые к пониженным температурам инбредные линии по таким признакам как всхожесть семян, длина корешка, индекс всхожести, индекс энергии прорастания [4, с.352]. Другими исследователями [6, с.212] были изучены морфологические признаки, фотосинтетические параметры, содержание пигментов и сахара, дифференциальная экспрессия генов у про-

ростков шести инбредных линий разных гетерозисных групп, обработанных пониженными температурами. При изучении экспрессии генов, связанных с устойчивостью к низким температурам во время прорастания семян кукурузы учёные пришли к выводу, что гены *AOX1* и *ZmAN-13*, можно использовать для отбора линий кукурузы устойчивых к этому стрессу [7, с.2689]. В результате других исследований были классифицированы 40 инбредных линий кукурузы по более чем 14 признакам проростков во время холодового стресса [3, с.1]. Также представлена молекулярная модель реакции на воздействие пониженных температур на стадии прорастания семян гибридов кукурузы [5, с.1] и идентифицированы наиболее вероятные механизмы ответственные за устойчивость к пониженным температурам у линии кукурузы S68911 [8, с.16]. Сообщается и о корреляции устойчивости к холodu

проростков кукурузы (у прямых и реципрокных гибридов) и урожайности [2, с.197]. Все авторы отмечают необходимость таких исследований в связи с меняющимся климатом и возможным продвижением районов выращивания кукурузы в зоны с менее жаркими погодными условиями. Цель работы заключалась в оценке устойчивости к пониженным температурам гибридов F₁ и их родительских генотипов на стадии всхожести и прорастания семян, изучении наследуемости признаков устойчивости и выявлении их взаимосвязи с количественными признаками растения. **Материал и методы исследований.** В наших экспериментах были использованы 8 простых гибридов F₁ (Л1866xСо125, Со125x Л1866, Л1866 xР343, Р343x А285, Р346x Р343, Р343x Р346, Р343x Л276, Р343x F2, а также 2 реципрокных комбинации между линией Р346 и её восковидным аналогом) и 8 родительских линий (А285, F2, Со125, Л1866, Л276, Р343, Р346 и её восковидный аналог). Семена каждого генотипа (три повторности по 30-50 семян) раскладывали на влажную фильтровальную бумагу в чашки Петри и обрабатывали пониженной температурой (+1°C +8°C) в течение 10 дней, затем семена находились три дня в условиях комнатной температуры (+15°C +18°C) и после этого учитывали такие признаки как всхожесть семян (%), длина проростка (см), длина корешка (см). В полевых условиях оценивали следующие количественные признаки растения: «высота растения»

(см), «высота прикрепления первого початка» (см), «длина метелки» (см), «количество веточек метелки» (штуки). По каждому генотипу меряли не менее 10 растений. Полученные данные обрабатывали программой Statgraphics 2.1. (дисперсионный и корреляционный анализы). Проводились расчеты степени влияния фактора в общей дисперсии признака [1, с.248], а также коэффициентов наследуемости [1, с.366].

Результаты исследований. Дисперсионный анализ показал, что изучаемые признаки достоверно ($p \leq 0,001$) зависели от фактора «генотип» (таблица 1). Сила его влияния на признаки «всхожесть семян» и «длина проростка» была высокой и у инбредных линий и у гибридов F₁. При этом, показатель силы влияния фактора «генотип» у инбредных линий по признаку «всхожесть семян» был почти равен такому же показателю у гибридов F₁. Такая же закономерность выявлена и для показателей силы влияния фактора «генотип» по признаку «длина проростка». В тоже время признак «длина проростка» зависел от фактора «генотип» больше, чем признак «всхожесть семян» (на 6,13% у линий и на 7,1% у гибридов). И только признак «длина корешка» зависел от фактора «генотип» меньше по сравнению с признаками «всхожесть семян» и «длина проростка» (на 21,2%, 5,9%, соответственно - у линий и на 27,3%, 13%, соответственно - у гибридов).

Таблица 1. Результаты дисперсионного анализа признаков «длина проростка» и «длина корешка» после холодовой обработки семян.

ИЗ	СК	ССв	СКв	F	p	СВ ФГ, %
Признак «всхожесть семян после холодового стресса»						
Линии	60,3	7	8,61	18,35	0,0000	88,92
Остаточная	7,51	16	0,47			
Общая	67,81	23				
Гибриды F ₁	108,135	9	12,015	17,42	0,0000	88,7
Остаточная	13,8	20	0,7			
Общая	121,933	29				
Признак «длина проростка после обработки семян холодом»						
Линии	29,61	7	4,23	43,93	0,0000	95,05
Остаточная	1,54	16	0,1			
Общая	31,15	23				
Гибриды F ₁	82,54	9	9,17	50,88	0,0000	95,8
Остаточная	3,6	20	0,18			
Общая	86,16	29				
Признак «длина корешка после обработки семян холодом»						
Линии	11,32	7	1,62	4,78	0,005	67,7
Остаточная	5,41	16	0,34			
Общая	16,73	23				
Гибриды F ₁	93,58	9	10,4	10,67	0,0000	82,76
Остаточная	19,5	20	0,97			
Общая	113,1	29				

СК- сумма квадратов, ССв – степени свободы, СКв – средний квадрат, F – критерий F, p – уровень значимости, СВ ФГ – сила влияния фактора «генотип».

Самые высокие значения признака «всхожесть семян» ($HCP_{05} = 0,56$) были отмечены у гибридов Л1866xСо125, Р343xЛ276, Р343xF2, Р346xA285

(98,53%, 94,13%, 93,61%, 92,5%, соответственно). Гибриды F₁ Р343xA285, Р343xF2, Л1866xСо125, Со125xЛ1866 достоверно ($HCP_{05} = 0,56$) превышали (на 25%-70%) родительские генотипы (линии А285, F2, Со125, Л1866) по признаку «всхожесть семян». Коэффициенты наследуемости (h^2) отцовских генотипов у гибридов Р343xA285, Р343xF2, Р343x

Л276, Р343хР346 по признакам «всхожесть семян», «длина проростка», «длина корешка» составили 0,53*, 0,97*, 0,77*, соответственно. По признаку «длина проростка» ($HCP_{05} = 0,37$) была выделена линия А285 и гибриды Со125хЛ1866, Р343хЛ276, Л1866хР343 (3,75 см, 4,99 см, 4,19 см, 3,32 см, соответственно). Самые высокие значения признака «длина корешка» ($HCP_{05} = 1,345$) были отмечены у линий А285, Р346, Р343, Л276, Со125 (2,79 см, 1,65 см, 1,28 см, 1,22 см, 1,04 см, соответственно) и гибридов Со125хЛ1866, Р343хЛ276, Л1866хСо125 (6,0 см, 5,33 см, 3,57 см, соответственно). Наследуемость признаков «длина проростка» и «длина корешка» была определена и с помощью корреляционного анализа. Так, для гибридса Со125хЛ1866 коэффициент наследуемости (h^2) отцовского генотипа по признаку «длина проростка» составил 0,52*, а для материнского генотипа гибрида Р343хА285 коэффициент наследуемости по этому же признаку составил 0,34**. По признаку «длина

корешка» были обнаружены достоверные корреляционные связи между отцовским генотипом и гибридом Со125хЛ1866 (коэффициент корреляции был положительным $r=0,54^{***}$), а между материнским генотипом и этим же гибридом коэффициент корреляции был отрицательным ($r= -0,25^*$). У гибрида Р343хР346 и отцовского генотипа также была выявлена достоверная отрицательная корреляционная связь ($r= -0,39^*$) по признаку «длина корешка».

Дисперсионный анализ количественных признаков растения (таблица 2) выявил достоверное влияние фактора «генотип», причем сила влияния данного фактора на изменчивость признаков «высота растения», «высота прикрепления первого початка», «длина метелки» была выше у инбредных линий, чем у гибридов F_1 (на 15,42%, 4,36% и 7,2%, соответственно) и только по признаку «количество веточек в метёлке» зависимость от фактора «генотип» у линий и гибридов F_1 была практически одинаковой.

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа признаков продуктивности растения.

ИЗ	СК	ССв	СКв	F	p	СВ ФГ, %
Признак «высота растения»						
Линии	18232,8	7	2604,7	29,13	0,0000	92,7
Остаточная	1430,7	16	89,42			
Общая	19663,5	23				
Гибриды F_1	3798,15	8	474,77	7,66	0,0002	77,3
Остаточная	1116,24	18	62,01			
Общая	4914,4	26				
Признак «высота прикрепления первого початка»						
Линии	6720,02	7	960,0	23,05	0,0000	90,1
Остаточная	666,47	16	41,65			
Общая	7386,49	23				
Гибриды F_1	4711,14	8	588,9	14,3	0,0000	86,42
Остаточная	740,27	18	41,13			
Общая	5451,4	26				
Признак «длина метелки»						
Линии	578,7	7	82,7	35,7	0,0000	94,0
Остаточная	37,04	16	2,32			
Общая	615,7	23				
Гибриды F_1	209,17	8	26,15	14,77	0,0000	86,8
Остаточная	31,87	18	1,77			
Общая	241,05	26				
Признак «количество веточек в метёлке»						
Линии	1284,2	7	183,46	31,09	0,0000	93,15
Остаточная	94,43	16	5,9			
Общая	1378,62	23				
Гибриды F_1	628,8	8	78,6	29,02	0,0000	92,8
Остаточная	48,74	18	2,71			
Общая	677,5	26				

ИЗ – изменчивость, СК- сумма квадратов, ССв – степени свободы, СрКв – средний квадрат, F – критерий F, p – уровень значимости, СВ ФГ – сила влияния фактора «генотип».

Интересно отметить, что реципрокные гибриды линий Л1866 и Со125 существенно отличались друг от друга по признакам прорастания семян после воздействия пониженной температуры, а по количественным признакам такой разницы не было

(таблица 3). В целом, у гибрида Р343хА285 были отмечены высокие значения у пяти из семи изученных признаков. Также можно выделить гибрид Л1866хР343, у которого довольно высокие показатели признаков «длина проростка» и «длина корешка» после холодовой обработки семян и хороший показатель признака «количество веточек метелки». Лучшей из инбредных линий по всем признакам кроме признака «всхожесть семян» после

обработки пониженной температурой» оказалась A285.

Таблица 3. Средние значения признаков устойчивости к холоду и признаков продуктивности у линий и гибридов F₁.

генотип	Вс, %	ДП, см	ДК, см	ВР, см	В1поч, см	ДМ, см	КВМ, шт
Л1866xCo125	98,53	1,73	3,57	196,5	50,05	32,11	15,17
Co125xЛ1866	85,99	4,99	6,0	205,08	52,2	30,76	17,72
Л1866	73,53	0,65	0,87	146,19	23,3	27,42	12,58
Co125	62,25	0,45	1,04	166,65	31,37	23,5	5
Л1866 xP343	88,36	3,32	2,73	197,5	58,12	31,9	21,47
P343	92,19	0,65	1,28	181,46	39,18	35,06	17,61
P343x A285	92,51	0,44	1,58	212	77,17	35,54	23,5
A285	20,34	3,75	2,79	215,94	77,67	36,78	27,5
P346x P343	35,93	0,34	1,03	209,3	56,5	37,09	16,56
P343x P346	76,79	0,66	2,32	214,4	52,18	38,79	12,44
P346	95,5	0,42	1,65	171,05	32,48	35,17	5,83
P343x Л276	94,13	4,19	5,33	188,57	42,97	37,73	12,03
Л276	94,65	0,62	1,22	113,24	24,33	31,34	6,83
P343x F2	93,61	0,49	0,97	205,17	40,19	31,92	16
F2	65,53	0,022	0,33	165,9	26,89	23,43	6,97
HCP ₀₅	0,56	0,37	1,345	14,44	10,71	2,37	3,42

Все значения достоверны при $p \leq 0,05$

Вс-всхожесть семян, ДП-длина проростка, ДК-длина корешка, ВР-высота растения, В1поч.-высота прикрепления первого початка, ДМ-длина метелки, КВМ-количество веточек метелки.

Корреляционный анализ показал, что у гибридов F₁ Л1866xCo125, P343xP346, P343xA285 и линии P343 признаки «высота растения» и «длина метелки» коррелируют положительно. У инбредных линий Л1866 и F2 была выявлена достоверная положительная связь между признаками «высота растения» и «высота прикрепления первого початка». Также линия Л1866 и гибрид F₁ Co125xЛ1866 положительно коррелировали по признаку «высота прикрепления первого початка» ($r=0,64^*$). По признаку «длина метелки» эта же линия (Л1866) и гибрид F₁ Л1866xCo125 также демонстрировали положительную корреляционную связь ($r=0,62^*$). Линия P343 и гибрид F₁ P343xA285 коррелировали отрицательно ($r=-0,71^*$) по признаку «количество веточек в метелке».

Корреляционный анализ признаков устойчивости и количественных признаков растения выявил особенности их взаимосвязи у изучаемых генотипов. Так, у линии Л1866, а также гибрида F₁

Л1866xP343 найдены достоверные отрицательные корреляционные связи по признакам устойчивости к холоду и признакам, характеризующим метёлку (таблица 4). Хотя, у гибрида Л1866x Co125 (с этой же линией в качестве материнского генотипа), отмечена достоверная положительная корреляционная связь между признаком устойчивости к холоду (длина корешка) и признаком «высота до 1 початка» у реципрокного ему гибрида. Между родительскими генотипами P346, P343, A285 и их гибридами F₁ (P343x A285, P346xP343) установлены достоверные отрицательные корреляционные связи между обоими признаками устойчивости и признаком «высота растения». Линия P346 (материнский генотип) и гибрид F₁ P346xP343 по другой паре признаков «длина корешка в холоде» и «количество веточек в метёлке» характеризовались уже достоверной положительной корреляционной связью. Следует отметить, что у гибрида F₁ P346xP343 оба признака устойчивости к холоду достоверно положительно коррелировали с признаком «высота растения», а у гибрида Co125xЛ1866 такая же корреляционная связь найдена только для одного признака устойчивости «длина проростка».

Таблица 4. Корреляции признаков у линий и гибридов F₁.

Признак устойчивости к стрессу	Генотип	Признак продуктивности растения	генотип	Коэффициент корреляции
Длина проростка после холодовой обработки семян	P343	Количество листьев на растении	P343	0,68*
	Со125хЛ1866	Высота растения	Со125хЛ1866	0,74*
	Л1866	Количество веточек метёлки	Л1866	-0,7*
	Р346	Высота растения	Р346хР343	-0,64*
	Р346хР343	Высота растения	Р346хР343	0,68*
Длина корешка после холодовой обработки семян	P343	Высота растения	P343х А285	-0,79*
	A285	Высота растения	P343х А285	-0,61*
	Л1866х Со125	Высота прикрепления 1 початка	Со125хЛ1866	0,65*
	Л1866х Р343	Длина метёлки	Л1866х Р343	-0,63*
	Р346	Количество веточек метёлки	Р346хР343	0,79*
	Р346хР343	Высота растения	Р346хР343	0,75*

Выводы. Учитывая все полученные результаты, можно выделить сочетающие хороший уровень устойчивости к холодовому стрессу и высокие значения количественных признаков генотипы - это инбредные линии А285 и Р343, а также гибриды F₁ Со125хЛ1866, Л1866хР343, Р343хА285, Р343хЛ276. Таким образом, оценка и отбор генотипов по холодному проращиванию семян, учитывая наличие достоверных корреляционных связей с количественными признаками, является эффективным методом подбора ценного исходного материала для селекции на устойчивость к данному абиотическому стрессу.

Список литературы

- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. /Б.А.Доспехов.Москва:Изд-во «Колос»,1979. 416 с.
- Berzy T., Zaborszky S., Szöke Cs. Stress tolerance of young maize seedlings of different reciprocal crossing combinations in case of some mv corn hybrids [Электронный ресурс] // International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch. 2018. V.3. N2. P.197-203. ISSN: 2456-8643. URL: http://ijaeb.org/uploads2018/AEB_03_155.pdf (дата обращения 16.03.2019).
- Enders T. A., Dennis S. St., Oakland J., Callen S. T., Gehan M. A., Miller N. D., Spalding E. P., Springer N. M., Hirsch C. D. Classifying cold stress responses of inbred maize seedlings using RGB imaging. [Электронный ресурс] // Plant Direct 2018. 3. p.1-11. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/pld3.104> doi: 10.1002/pld3.104 (дата обращения 14.03.2019).
- Email author Farooqi M.Q.U., Lee J.K. Cold Stress Evaluation among Maize (*Zea mays L.*) Inbred Lines in Different Temperature Conditions [Электронный ресурс] // Plant Breeding and Biotechnology. 2016. V4. P. 352-361. URL: <http://www.plantbreedbio.org/journal/view.html?doi=10.9787/PBB.2016.4.3.352> (дата обращения 14.03.2019).
- Noblet A., Leymarie J., Bailly C. Chilling temperature remodels phospholipidome of *Zea mays* seeds during imbibitions. [Электронный ресурс] // Sci Rep. 2017. 7: 8886. p. 1-12. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-08904-z.pdf> doi: 10.1038/s41598-017-08904-z (дата обращения 19.03.2019).
- Riva-Roveda L., Escale B., Giauffret C., Perilleux C. Maize plants can enter a standby mode to cope with chilling stress [Электронный ресурс] // BMC Plant Biology. 2016. V. 16. p.212 -226. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/81891350.pdf> DOI 10.1186/s12870-016-0909-y (дата обращения 12.03.2019).
- I.C. Silva-Neta¹, E.V. Pinho¹, A.D. Veiga², R.G. Pinho¹, R.M. Guimarães¹, F. Caixeta¹, H.O. Santos¹ and T.L. Marques¹ Expression of genes related to tolerance to low temperature for maize seed germination. [Электронный ресурс] // Genet. Mol. Res. 2015 14 1: 2674-2690 <http://www.funpecrp.com.br/gmr/year2015/vol14-1/pdf/gmr4903.pdf> DOI <http://dx.doi.org/10.4238/2015.March.30.28> (дата обращения 17.03.2019).
- Sobkowiak,M. Jończyk,J. Adamczyk,J. Szczepanik,D.Solecka,I.Kuciara, K Hetmańczyk, J.Trzcinska Danielewicz,M. Grzybowski,M. Skoneczny,J Fronk, P.Sowiński Molecular foundations of chilling-tolerance of modern maize [Электронный ресурс] // BMC Genomics 2016. 17:125. p.1-22 <https://bmcbioinformatics.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12864-016-2453-4> (дата обращения 15.03.2019).

**СОДЕРЖАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В КРИОГЕННЫХ ПОЧВАХ
АРКТИКИ**

Ломакина Анастасия Николаевна

Студент 2 курса магистратуры САФУ им. М. В. Ломоносова

Евдокимова Валентина Петровна

Доцент кафедры химии и химической экологии высшей школы естественных наук и технологий

САФУ им. М. В. Ломоносова

г. Архангельск

АННОТАЦИЯ.

Данная статья посвящена исследованию содержания катионов аммония и нитрат-ионов в почвах островных и береговых территорий Белого, Карского и Баренцева морей. В работе использовались методики из Государственного реестра ПНД Ф. В ходе исследования обнаружены как бедные, так и богатые неорганическим азотом почвы. Так на островах Колгуев и Вайгач выявлено серьезное превышение ПДК нитратов. А в почвах полярной станции Русская Гавань и острова Хейса обнаружено крайне низкое содержание катионов аммония.

ABSTRACT.

The article discusses the content of ammonium cations and nitrate ions in the soils of the island and coastal areas of the White, Kara and Barents seas. The work used techniques from the State Register of PND F. The study found both meager and abundant by inorganic nitrogen soils. So on the islands Kolguev and Vaigach revealed a serious excess of the MPC of nitrates. And in the soils of the polar station Russkaya Gavan' and Heiss Island, an extremely low content of ammonium cations was found.

Ключевые слова: Арктика, почва, нитрат-ионы, катионы аммония, обеспеченность, антропогенная нагрузка.

Keywords: Arctic, soil, nitrate-ion, ammonium cations, sufficiency, anthropogenic load.

Земельный ресурс Севера в России изучают более 80 лет. За это время накоплены знания о типах почв формирующихся в условиях криогенеза, их морфологии, структуре, составе, характеристиках и свойствах. Однако на почвенной карте высоких широт до сих пор масса «белых пятен». Связанно это в первую очередь с масштабами территории. Криогенные почвы, составляют почти 25% всей внедниковской суши Земли и более половины площади России [1, с 22]. Еще одна причина – глобальное изменение климата. Из-за потепления площадь льда сокращается, открывая все новые, пока неизведанные в почвенном отношении участки суши. Согласно данным ученых НАСА с конца 1970-х годов, ежегодно в среднем тает 54 тыс. кв. км льда. В 2018 году объем ледовой шапки северного полюса достиг рекордно низкого уровня с 2012 года, сократившись до 4,59 млн кв. км. [6, с. 2].

Целью нашего исследования стало изучение мерзлотных типов почв Арктической зоны на содержание минеральных форм азота, представленного катионами аммония и нитрат-ионами. Источником поступления азота в почву может быть ферментация органических остатков, а также фиксация азота из атмосферного воздуха и сточных вод. В почве азот содержится в ограниченных количествах и преимущественно в труднодоступной для растений – органической форме, в основном это белки и продукты их распада. Минеральный азот в почвах чаще всего представлен катионами аммония (растворенными в почвенной влаге, обменными и фиксированными), нитрат-ионами и нитрит-

ионами. Последние, присутствуют в очень малых количествах или отсутствуют вовсе [4, с. 9]. Минеральный азот не только главный источник питания для растений, но и важнейший почвообразовательный элемент.

Содержание доступного для растения азота неустойчиво и весьма подвижно. Зависит от целого ряда микробиологических процессов: азотфиксации, амоно-, нитро-, денитрофикации. А также от гранулометрического состава и физико-химических свойств почвы. Чтобы говорить об обеспеченности растений почвенным азотом для культурных почв, определять минеральные формы азота в образцах, необходимо в динамике, в течении всего вегетационного периода. В высоких широтах, период вегетации значительно короче, а микробиологические процессы в почве проходят медленнее. Считаем, что полученные в исследовании данные могут говорить об обеспеченности растений почвенным азотом не только для срока взятия образца, но и на время всего периода «Арктического лета».

Объектами исследования стали пробы почв береговых и островных территорий Белого, Баренцева и Карского морей, отобранные во время экспедиций «Арктический плавучий Университет» в 2013 и 2014 годах. Участки закладки пробных площадей (ПП) отмечены на рисунке 1. Экспедиция была осуществлена Северным (Арктическим) федеральным университетом имени М.В. Ломоносова совместно с ФГБУ «Северное УГМС» на научно-исследовательском судне «Профессор Молчанов». Отбор и хранение проб почвы проводился согласно ГОСТ 28168-89.