



**Майкопский  
государственный  
технологический  
университет**

**The international  
scientific seminar**

**Международный  
научно-практический  
семинар**

**ECOLOGICAL  
PROBLEMS  
OF THE PRESENT  
DAY**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ  
СОВРЕМЕННОСТИ**

**PROCEEDINGS**

**МАТЕРИАЛЫ**

**Майкоп  
12 – 15 мая  
2009 г.**

УДК [574:061.3] (470.621)

ББК 20.1

Э – 40

Печатается по решению научно-технического совета  
ГОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет»

**Редакционная коллегия:**

Овсянникова Т.А. – докт. филос. наук, профессор

Беданок М.К. – докт. экон. наук, профессор

Сиротюк Э.А. – докт. биол. наук, профессор

Дёмина Т.И. - канд. физ.-мат. наук, доцент

Каблуков В.И. - канд. геол.-минер. наук, доцент

Э 40 Экологические проблемы современности: Материалы научно-практического семинара. – Майкоп: ИП Магарин О.Г., 2009. – 267 с.

ISBN 978-5-91692-009-3

В сборнике представлены материалы участников научно-практического семинара «Экологические проблемы современности», организованного на базе ГОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет», проведённого в г. Майкопе 12 – 15 мая 2009 г.

УДК [574:061.3] (470.621)

ББК 20.1

ISBN 978-5-91692-009-3

© ГОУ ВПО «МГТУ»

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Аджиева А.А., Машуков И.Х., Шаповалов В.А.</i> Опасные конвективные процессы на территории Северного Кавказа .....                                                                                                                                                              | 9   |
| <i>Brito–Santana H., Rodríguez–Ramos R., Guinovart–Díaz R., Bravo–Castillero J., Sabina F.J.</i> Variational bounds for multiphase anisotropic elastic composites with spherical, cylindrical and spheroids geometric shape of inclusions .....                                    | 19  |
| <i>Бабейко А.Ю.</i> Использование численного моделирования для разработки, тестирования и оперативного функционирования германо-индонезийской системы раннего предупреждения об угрозе цунами (GITEWS) .....                                                                       | 34  |
| <i>Балкарова С.Б.</i> Экспериментальное исследование процессов тепломассообмена капель воды, кристаллизирующихся в потоке воздуха .....                                                                                                                                            | 38  |
| <i>Беданоков А.Ю., Бештоев Б.З., Микитаев А.К., Микитаев М.А., Сазонов В.В.</i> Полиэтилентерефталат: новые направления рециклинга ....                                                                                                                                            | 47  |
| <i>Беданоков М.К., Коблева Р.Б.</i> Модель обтекания гор произвольного профиля и климат .....                                                                                                                                                                                      | 63  |
| <i>Беданокова С.Ю.</i> Математическое моделирование водного и солевого режимов в почвах с фрактальной организацией .....                                                                                                                                                           | 75  |
| <i>Бельмехов Р.Я., Шехмирзова М.Д.</i> Морфология и биоэкология ореха черного в условиях Северо – Западного Кавказа .....                                                                                                                                                          | 83  |
| <i>Бельмехов Р.Я., Шехмирзова М.Д.</i> Культуры ореха черного в долине реки Кубань и ее притоков .....                                                                                                                                                                             | 90  |
| <i>Богачев А.В., Гук Г.А.</i> Воздействие автотранспортного комплекса на экологию региона .....                                                                                                                                                                                    | 97  |
| <i>Гетьманов В.В., Каблуков В.И.</i> Электролитическая переработка отходов средств вычислительной техники, содержащей драгоценные металлы ...                                                                                                                                      | 106 |
| <i>Даова С.П., Илгашев В.С., Камарзаев А.В., Кочкаров М.М., Масаев М.Б., Савойский Ю.В., Суншев З.А., Суншева З.З., Хамирзов К.Х., Хоконов А.Х.</i> О возможности применения Эльбрусского спектрографа космических лучей для восстановления температурного разреза атмосферы ..... | 109 |

|                                                                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Дахова О.О.</i> Исследование выбросов автотранспорта в атмосфере города Нальчика .....                                                                                      | <b>117</b> |
| <i>Дёмина Т.И.</i> Краевые задачи для уравнений смешанного и гиперболического типа в прямоугольных и цилиндрических областях ...                                               | <b>125</b> |
| <i>Каблуков В.И.</i> Технологии переработки отходов средств производства и потребления .....                                                                                   | <b>135</b> |
| <i>Киселева С.В., Чернявский А.А.</i> Анализ результатов ветромониторинга на площадке предполагаемого строительства Ейской ВЭС .....                                           | <b>141</b> |
| <i>Кориневич Л.А.</i> Потенциальные возможности Республики Адыгея по использованию геотермальной энергии .....                                                                 | <b>149</b> |
| <i>Кулова Д.Д., Кучинская Е.А.</i> Использование древесных интродуцентов в оздоровлении окружающей среды .....                                                                 | <b>161</b> |
| <i>Лебедев С.А.</i> Оценка фонового загрязнения нефтепродуктами Черного и Каспийского морей с использованием данных дистанционного зондирования и модельных расчетов .....     | <b>171</b> |
| <i>Марченков А.Ю.</i> Сейсмическое микрорайонирование. Основы, практика, перспективы .....                                                                                     | <b>192</b> |
| <i>Масаев М.Б., Савойский Ю.В., Сижажев М.А., Хоконов А.Х.</i> Мониторинг радоновых всплесков методом гамма-спектрометрии аэрозольных фильтров .....                           | <b>195</b> |
| <i>Салтыкова А.Ю., Сиротюк Э.А.</i> Состояние и пути решения проблемы биологической очистки сточных вод лечебно-исправительного учреждения .....                               | <b>207</b> |
| <i>Сиротюк Э.А., Тах И.П., Тороян Р.А.</i> Формы нахождения тяжёлых металлов и их распределение по абиотическим компонентам экосистемы р. Белая Северо-Западного Кавказа ..... | <b>214</b> |
| <i>Тах И.П., Тороян Р.А.</i> Принципы организации системы экологического мониторинга бассейнов малых рек .....                                                                 | <b>225</b> |
| <i>Тхатель А.А.</i> Использование современных информационных технологий при подготовке специалистов инженерных специальностей ГОУ ВПО МГТУ .....                               | <b>230</b> |

|                                                                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Хакунов М.Р.</i> Необходимость применения биологических методов при анализе загрязнений окружающей среды .....                                                    | <b>234</b> |
| <i>Хурумов А.Н.</i> Стратегическое планирование и прогнозирование социально-экономического развития региона, как фактор роста инвестиционной привлекательности ..... | <b>238</b> |
| <i>Черепанцев А.С.</i> Свойства самоорганизованного критического состояния в модели дискретной блоковой среды .....                                                  | <b>243</b> |
| <i>Шевякова О.П.</i> Краевые задачи для нелокальных дифференциальных уравнений с частными производными дробного порядка .....                                        | <b>246</b> |
| <i>Шогенова М.М.</i> Исследование льдообразующих и конденсационных свойств растворов солей тетрабутиламмония во фреоне .....                                         | <b>255</b> |
| Сведения об авторах .....                                                                                                                                            | <b>262</b> |

## CONTENS

|                                                                                                                                                                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Adjjeva A.A., Mashukov I.H., Shapovalov V.A.</i> Dangerous convective processes in the North Caucasus territory .....                                                                                                                        | <b>9</b>   |
| <i>Brito–Santana H., Rodríguez–Ramos R., Guinovart–Díaz R., Bravo–Castillero J., Sabina F.J.</i> Variational bounds for multiphase anisotropic elastic composites with spherical, cylindrical and spheroids geometric shape of inclusions ..... | <b>19</b>  |
| <i>Babeyko A.Y.</i> Use of Numerical Modeling for Development, Verification and Operation of the German-Indonesian Tsunami Early Warning System (GITEWS) .....                                                                                  | <b>34</b>  |
| <i>Balkarova S.B.</i> Experimental investigation of heat and mass transfer of water drop processes, crystallizing in air stream .....                                                                                                           | <b>38</b>  |
| <i>Bedanokov A.Y., Beshtoev B.Z., Mikitaev A.K., Mikitaev M.A., Sazonov V.V.</i> Polietilentereftalat: new directions recikling .....                                                                                                           | <b>47</b>  |
| <i>Bedanokov M.K., Kobleva R.B.</i> Model of flow mountains of the free profile and climate .....                                                                                                                                               | <b>63</b>  |
| <i>Bedanokova S.Y.</i> Mathematical modelling of aqueous and saline condition of soils with the fractal organisation .....                                                                                                                      | <b>75</b>  |
| <i>Belmehov R.Y., Shehmirzova M.D.</i> About morphology and bioecology of Juglans (nigra J.) in the conditions of Northwest Caucasus .....                                                                                                      | <b>83</b>  |
| <i>Belmehov R.Y., Shehmirzova M.D.</i> Cultures of Juglans nigra J.in the valley of the river Kuban and its flows .....                                                                                                                         | <b>90</b>  |
| <i>Bogachev A.V., Guk G.A.</i> The influence of motor transportation complex on the regional ecological environment .....                                                                                                                       | <b>97</b>  |
| <i>Get'manov V.V., Kablukov V.I.</i> Electrolytic recycling of wastes the calculating technical means, contrainng precious metals .....                                                                                                         | <b>106</b> |
| <i>Daova S.P., Ilgashev V.S., Kamarzaev A.V., Kochkarov M.M., Masaev M.B., Savoyskiy Y.V., Sunshev Z.A., Sunsheva Z.Z., Hamirzov K.H., Khokonov A.H.</i> The new high mountainous neutron monitor of the Elbrus ultra rays spectrograph .....   | <b>109</b> |
| <i>Dakhova O.O.</i> Researching ob the pollution in the atmosphere ob Nalchik ....                                                                                                                                                              | <b>117</b> |

|                                                                                                                                                                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Demina T.I.</i> The boundary value problems for the equations of mixed and hyperbolic type in the rectangular and cylindrical areas .....                                                                             | <b>125</b> |
| <i>Kablukov V.I.</i> Wastes of production and consumption in Adygh Republic – problems and solutions .....                                                                                                               | <b>135</b> |
| <i>Kiseleva S.V., Cherniavskii A.A.</i> Eysk wind energy project: determination of the wind resource and its analysis .....                                                                                              | <b>141</b> |
| <i>Korinevich L.A.</i> Prospects of the Usage of Geothermal Energy in Republic Adygheya .....                                                                                                                            | <b>149</b> |
| <i>Kulova D.D., Kuchinskaya E.A.</i> Use of wood foreign plants in improvement of an environment .....                                                                                                                   | <b>161</b> |
| <i>Lebedev S.A.</i> Estimating Model Calculation of Background Oil Pollution of the Black and Caspian Seas Based on Remote Sensing Data .....                                                                            | <b>171</b> |
| <i>Marchenkov A.Y.</i> Seismic site microzonation. Basics, practice, perspectives... ..                                                                                                                                  | <b>192</b> |
| <i>Masaev M.B., Savoyskiy Y.V., Sizhazhev M.A., Hokonov A.H.</i> Radon ejections monitoring by $\gamma$ -Ray Spectrometry of Aerosol Filters .....                                                                       | <b>195</b> |
| <i>Saltykova A.Y., Sirotyuk E.A.</i> The condition and options of solution to the problem of biological purification of medical corrective institution sewage ...                                                        | <b>207</b> |
| <i>Sirotyuk E.A., Tah I.P., Toroyan R.A.</i> Forms of heavy metals presence and their distribution within abiotic components within the ecosystem of the river Belaya in the North-Western Caucasus .....                | <b>214</b> |
| <i>Tah I.P., Toroyan R.A.</i> Principles of creation of the system of ecological monitoring of small rivers basins .....                                                                                                 | <b>225</b> |
| <i>Tkhatel' A.A.</i> Application of modern information technology in the process of preparation of experts of engineering specialities in the institution of higher learning Maykop State Technological University ..... | <b>230</b> |
| <i>Khakunov M.R.</i> The importance of application of biological methods in the process of environmental pollution analysis .....                                                                                        | <b>234</b> |
| <i>Khurumov A.N.</i> Strategic planning and forecasting of social and economic development of the region as a factor of investment appeal growth .....                                                                   | <b>238</b> |
| <i>Cherepancev A.S.</i> Properties of self-organized critical state in discrete block model with interaction .....                                                                                                       | <b>243</b> |

|                                                                                                                                            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Shevyakova O.P.</i> The boundary value problems for non-local differential equations with partial derivatives of fractional order ..... | <b>246</b> |
| <i>Shogenova M.M.</i> The investigation of ice formed and condensational properties of tetrabutylammonium salt solutions in frion .....    | <b>255</b> |
| Information about author' .....                                                                                                            | <b>262</b> |



## ОПАСНЫЕ КОНВЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

*Аджиева А.А., Машуков И.Х., Шаповалов В.А.*  
(Россия, г. Нальчик)

**Введение.** Природные стихийные явления и связанные с ними катастрофы являются неотъемлемой частью жизни современного общества. Природные стихийные явления приводят порой не только к человеческим жертвам и значительному материальному ущербу, но и к существенному изменению среды обитания человека. В условиях повышения частоты стихийных явлений и катастроф человечество должно совершенствовать методы и средства обеспечения себе безопасных условий жизнедеятельности. Поскольку в современных условиях нельзя полностью исключить возможность аварий и катастроф, безопасность подразумевает необходимую и достаточную защищенность, подготовленность населения и хозяйственных объектов к вероятным стихийным явлениям в природе. Научно обоснованная и экономически целесообразная система превентивных мер, направленных на снижение риска чрезвычайных ситуаций природного характера и смягчение их последствий, включает в себя комплекс экономических, технических, технологических, организационных и других мероприятий. Они требуют вложения значительных сил и средств, однако, как свидетельствует мировой и отечественный опыт, затраты на предупреждение чрезвычайных ситуаций в среднем в 15 раз меньше величины возможного (предотвращенного) ущерба. Эффективность превентивных мер в значительной степени зависит от качества и заблаговременности прогноза катастрофических природных явлений, который основывается на сумме знаний о природных опасностях, причинах их возникновения, особенностях проявления и воздействия. Таким образом, для предотвращения природных чрезвычайных ситуаций общество и государство остро нуждаются в полноценной и разносторонней информации о масштабах распространения и степени опасности природных процессов, действующих (или способных действовать) в пределах определенной территории [7, с.315].

Наибольшим риском возникновения стихийных природных бедствий на территории России характеризуется Северный Кавказ. На территории региона происходит треть всех чрезвычайных ситуаций природного характера в стране. Большинство чрезвычайных ситуаций на территории округа, обусловленных проявлением опасных природных процессов и явлений, происходит в зонах проживания и активной производственной деятельности населения. Особо опасными явлениями считаются грозоградные процессы. Основная часть территории региона расположена в зоне рискованного земледелия, в связи с чем, и сельскохозяйственное производство в округе несет большие потери от стихийных природных процессов. Одним из возможных путей снижения воздействия этих явлений

на жизнедеятельность является своевременное обнаружение этих явлений на ранней стадии их развития и осуществление превентивных мер воздействия.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментов по комплексному радиолокационному исследованию динамики развития, микроструктуры и воздушных потоков градовых облаков, проведенных Северокавказской службой по активному воздействию на метеорологические процессы (СКВС) в 2007 г. Исследование строения и динамики развития облаков проводились с помощью двухволнового радиолокатора МРЛ -5. Воздействия проводились пунктами воздействия СКВС (ПВ) на территории Северного Кавказа. Цель активных воздействий на грозовые и градовые облака состоит в предотвращении градобитий на защищаемой территории (ЗТ) и уменьшении вероятности образования молниевых разрядов.

Основной задачей настоящей статьи является исследование особенностей динамики грозо-градового облака в условиях большого запаса энергии неустойчивости в атмосфере. Анализируется случай развития сверхмощного кучево-дождевого облака с использованием радиолокационных данных, а также рассматриваются результаты воздействия на это облако. Высота верхней границы Сб превосходила 12 км, при этом проводились измерения характеристик облака и воздействия на него.

### **Оборудование для исследований и проведения воздействий.**

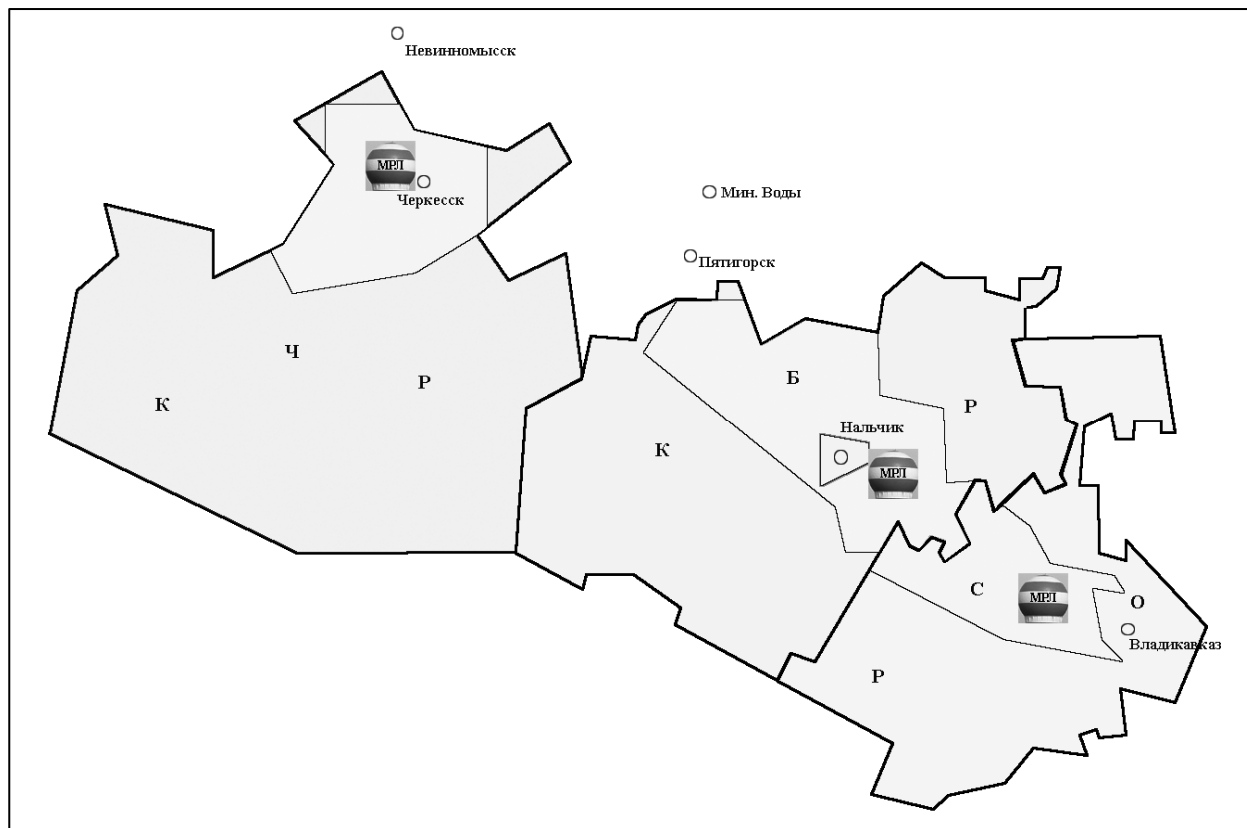
Противоградовая защита в Российской Федерации организована с 1967года. Росгидрометом создана сеть специализированных организаций - военизированные службы по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы (ВС), Северо-Кавказская ВС осуществляет противоградовую защиту на территории трех республик Северного Кавказа Карачаево-Черкесии, Кабардино-Балкарии и Северной Осетии-Алания на площади 800 тыс. га (рис. 1).

Служба располагает 3 командными пунктами, оснащенными двухволновыми метеорологическими радиолокаторами МРЛ-5 с длинами волны  $\lambda = 3,2$  и 10 см, сопряженные с автоматизированной радиолокационной системой (АРС) «МЕРКОМ» предназначенной для автоматизированного сбора, обработки, анализа, представления, накопления, хранения и передачи радиолокационной информации об облаках и связанных с ними явлениями. АСУ «Мерком» обеспечивает управление метеорологическим радиолокатором и обзор трехмерного пространства с периодичностью 3,0 или 4,0 мин, что позволяет круглосуточно получать оперативную информацию о конвективных облаках [8, с.230,9, с. 358,10, с. 343].

На защищаемой территории размещены 58 пунктов воздействия, с которых с помощью ракетных установок производится запуск ракет для предотвращения образования и подавления града в зависимости от радиолокационных критериев. Используются специальные средства

воздействия противораковые ракеты типа "Алазань". Ракета содержит 660 г кристаллизующего реагента на основе AgI.

Образование и развитие облаков связано с многообразием и сложным взаимодействием разномасштабных атмосферных процессов [1, с.32-40, 3 с.39-47].



**Рис. 1.** Схема проведения противораковой защиты СКВС.

Общая площадь защищаемой территории 800 тыс. га

Быстротечность процессов образования и роста града предъявляют особые требования к методике засева облаков и к организации системы противораковой защиты (ПГЗ). В системе ПГЗ должно быть предусмотрено: своевременное обнаружение градоопасных облаков, оценка их на способность нанести град с ущербом с заблаговременностью соизмеримой со временем образования и роста града и необходимый разовый засев должен иметь продолжительность порядка нескольких минут. Эти принципы положены в основу разработанных средств и методов ПГЗ и применены на практике. Суть применяемого метода воздействия в создании в облаке дополнительно к естественным зародышам града большого количества искусственных зародышей, способных вступать в конкуренцию за облачную воду. На практике данная концепция реализуется путем внесения в облако кристаллизующего реагента AgI с помощью специальных противораковых ракет типа «Алазань-6» при сгорании в которых шашки активного дыма выделяется при ( $t = -10^{\circ}$ ) порядка  $10^{15}$  кристаллов с одной ракеты.

Образовавшиеся кристаллы в течение 4-10 мин могут вырасти до нескольких мм и стать зародышами града.

Распознавание градовых и градоопасных облаков и оценка степени их градоопасности осуществляется одноволновым и двухволновым радиолокационными методами [2, с.196, 4, с.265-270, 10, с.343].

Воздействие проводится на градовые облака и облака, имеющие тенденцию развития и перерастания в градовое состояние. Объектом воздействия (ОВ) является радиоэхо облака или конвективной ячейки (КЯ), параметры которого соответствуют критериям воздействия с целью предотвращения выпадения града. Распознавание ОВ различных категорий осуществляется по критериальным значениям комплекса параметров характеризующих повышенное водосодержание переохлажденной части конвективной ячейки и наличие области нависающего радиоэха, указывающей на наличие восходящего потока, питающего КЯ. Исходными данными для выбора из совокупности кучево-дождевых облаков тех, на которые необходимо проводить воздействие, являются радиолокационные и прогностические параметры: высотные, отражательные, температурные и т.д.

Засеваются области нового роста (области будущего градообразования). За эффект воздействия принимается в случае развивающегося градового облака отсутствие града на земле или локальное выпадение крупы, мелкого града. В случае зрелого облака - прекращение выпадения града или значительное уменьшение его размера и площади единовременного выпадения, дискретность такого выпадения.

Физическая эффективность противорадовой защиты по многолетним данным в СКВС в отдельные годы доходит до 70%.

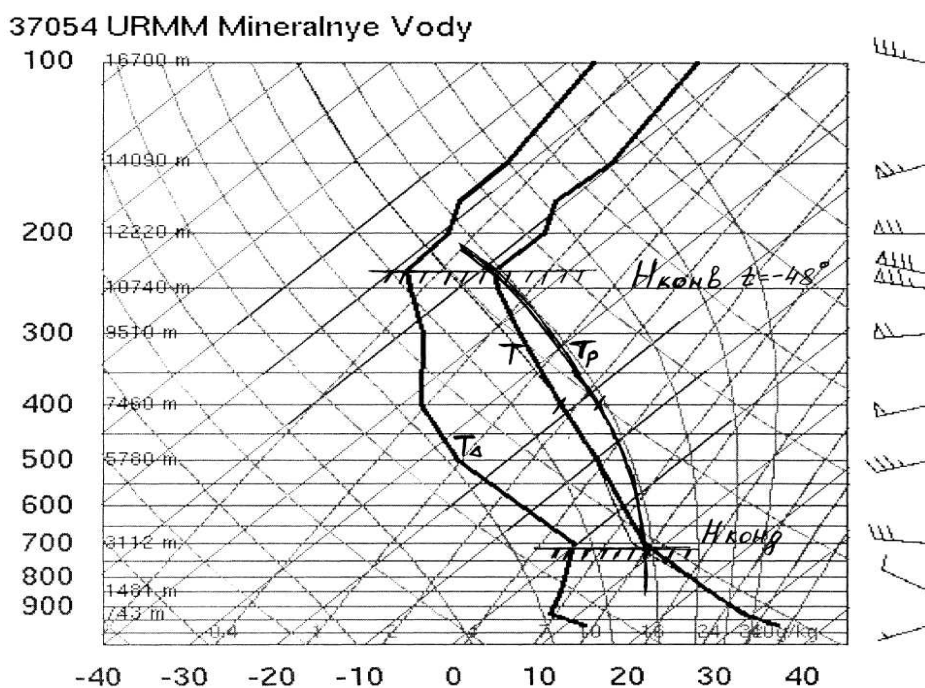
**Анализ синоптической ситуации и данных радиозондирования.** Для анализа состояния атмосферы службой используются данные радиозондирования в г. Минеральные воды (наиболее близкий пункт наблюдения к исследуемым облакам). Для анализа рассмотрим грозо-градовый процесс развивавшийся над Северным Кавказом 24 июня 2007 года.

24 июня 2007 года в первую половину дня погода Северного Кавказа определялась сухой тропической массой воздуха. У земли располагалось поле повышенного давления и термобарический гребень по высотам. Поэтому в послеполуденные часы максимальный прогрев воздуха достигал 32-34 градусов.

Во второй половине дня наблюдалось прохождение холодного фронта с северо-запада со скоростью 30 км/час. Контраст температур на уровне 850мб в зоне фронта составлял 6-7 градусов. По высотам произошло вторжение полярных масс воздуха в передней части термобарической ложбины. Линии фронта соответствовало струйное течение с нижней границей на высоте 7200м, со скоростью 100 км/час юго-западного направления. Ведущий поток на уровне 500мб юго-западный 60км/час.

По радиозонду Мин-Вод скорости вертикальных потоков 19м/сек на изотерме -17,5 гр. Высота нулевой изотермы 4000м, изотермы -6гр находилась на уровне 5000м. Суммарная относительная влажность в активном слое 50%, суммарная удельная влажность 12,7г/кг, суммарный дефицит 28 гр. В этот день вертикальное распределение ветра в атмосфере и вертикальные сдвиги в слое конвекции 200-850мб в нижнем слое тропосферы 700-850мб на рис2, определяющие структуру градового процесса были характерны для многоячейкового неупорядоченного градового процесса.

Запас энергии неустойчивости в облакообразующем слое 700-400мб 592дж/кг, а во всем слое развития конвекции составлял 1036 дж/кг. Согласно методам расчета ГМЦ и ВГИ на фронте в предгорных и горных районах ожидалось развитие кучево-дождевой облачности с уровнем конденсации 3000м, уровнем конвекции 11000м, кратковременные ливни, грозы, шквалы до 25-30м/сек, град диаметром до 10мм.



**Рис. 2.** Распределение температуры и температуры точки росы с высотой, кривая состояния.  $N_{конв}$  – высота верхней границы облака,  $N_{конд}$  – высота нижней границы облака,  $T$  – температура,  $T_d$  – температура точки росы,  $T_p$  – кривая состояния влажной частицы.

**Результаты радиолокационных наблюдений.** По радиолокационным наблюдениям развитие кучево-дождевых облаков 24 июня началось после 18 часов над территорией КЧР. В 18 ч. 40 мин в районе г. Усть-Джегута (ЗТ КЧР) наблюдалась фронтальная полоса грозových ячеек, ориентированная с СВ на ЮЗ. Характеристики наиболее интенсивной ячейки: высота верхней границы - 12,5км ( $H_{z_{15}}$ ); высота верхней границы объема с  $Z_{10} = 35$  dBZ ( $H_{z_{35}}$ ) - 11,0км высота максимума радиоэхо ( $H_{z_m}$ ) - 7,0км; максимальная отражаемость ОВ на длине волны 10см составляла - 59 dBZ. Отмечалось выпадение мелкого града (рис. 3а). На облако с 18ч 31мин. до 18ч 51мин

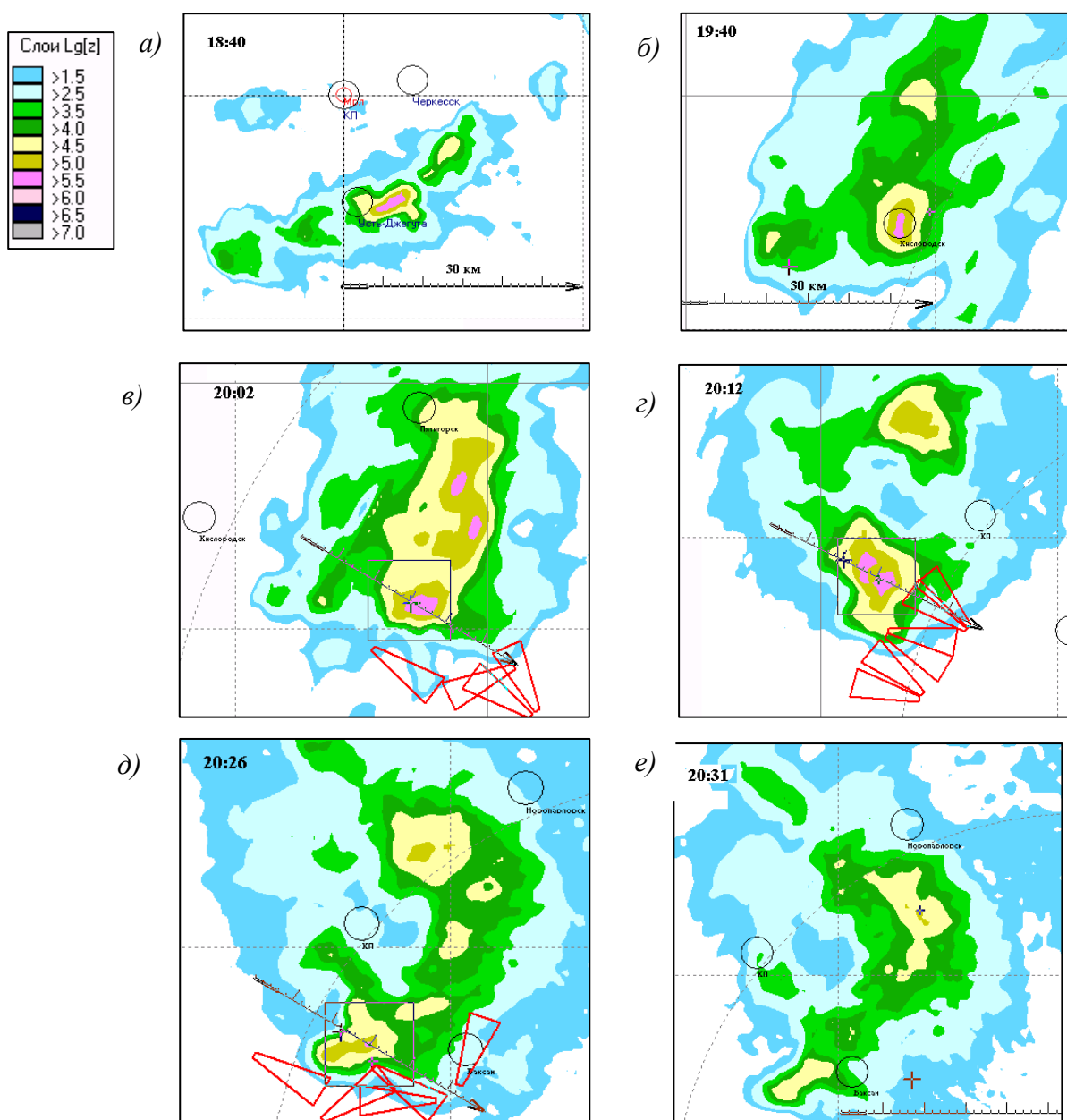
проводилось воздействие. Была запущена 71 ракета. Грозовой шторм смещался в сторону г. Кисловодска. В 19:40 в облачном поле нескольких грозových ячеек развилось градовое облако №2 и оно смещалось в сторону границы ЗТ (КБР), в районе селения Кичмалка. Впереди облака №2 развивалась новая гроззовая ячейка (рис. 3б). В 19ч. 51 мин происходит слияние (объединение радиоэха) исследуемых облаков, которое приводит к формированию мощного облака, на которое в 19ч 52 мин начато воздействие с двух ПВ. В это время севернее от исследуемого облака формируется новая ячейка. Облако продолжает развиваться и смещается со скоростью около 60 км/час на ВЮВ. К 20ч 02мин было запущено 30 ракет. Радиолокационные характеристики облака в 20ч 02мин достигли следующих значений: высота верхней границы радиоэха  $H_{Z15}$  - 12 км; высота области повышенной водности (ледности)  $H_{Z35}$  - 10, 6 км; максимальная радиолокационная отражаемость  $Z_m$  - 58 dBZ. Из облака начал выпадать град размером до 1см. Выпадение града сопровождалось ураганным ветром. Воздействие по прерыванию образования града продолжалось, запускается ещё 12 ракет (рис. 3в). К 20 часам образовался навес радиоэха глубиной 6км, ориентированный на ЮВ. Пространственная структура облака указывала на наличие нескольких мощных восходящих потоков. Воздействия на облако проводились после каждого цикла обзора. Облака в 20ч 12мин характеризовались:  $H_{Z15}$  -12,8 км;  $H_{Z35}$  - 11,2 км;  $Z_m$  - 61dBZ. В этой связи применялся более интенсивный засев облака на правом наветренном фланге. Одновременно запускались от 15 до 21 ракеты на пределе технической возможности противоградовых установок (рис. 3г). После массивной обработки удается вывести облако из квазистационарной стадии и не допустить роста крупного града в нем. Характеристики облака в 20ч 18мин были:  $H_{Z15}$  -11,5 км;  $H_{Z35}$  - 10,2 км;  $Z_m$  - 57dBZ. В это время выпадал ранее образовавшийся мелкий град. Облако начинало разрушаться, исчез навес радиоэха, происходило деление облачной массы на ячейки. С 20:26 грозовой шторм протяженностью около 50км, ориентированный по линии Новопавловск–Баксан (рис. 3д), в виде 5 грозových ячеек обрабатывался до 20ч 44мин. Общее время воздействий составило 52 мин. Грозо-градовый процесс сопровождался шквалистым ветром.

Нами проведен детальный анализ размеров облака, и динамики их изменения во времени. Высота верхней границы облака была получена по радиолокационным данным. Следует отметить, что она несколько отличается от реальной высоты облаков. Зависимость высоты облака от времени представлена на рис.4а. Из рисунка видно, что регенерация облака происходила пять раз. После каждого цикла воздействия облако пыталось восстановить свою мощность. Только после последнего воздействия к 124 минуте мы наблюдаем последнюю разрушительную стадию. Данные периоды развития облака подтверждают импульсный характер облачной конвекции [3, с. 39-47, 4, с.265-270, 11, с.351].

Максимальная радиолокационная отражаемость находилась в пределах от 47- до 62 dBZ. Ее зависимость от времени представлена на

рис.4б. Видно, что максимумы отражаемости приходятся на периоды релаксации облака, что соответствует и максимальным высотам верхней границы облака.

Таким образом, 24 июня на ЗТ КБР (в Зольском и Баксанском районах) реализовался многоячейковый грозо-градовый процесс. Было выделено 6 объектов воздействия. Облако №3 реализовалось как мощное градовое переходного (гибридного) типа. Проведены воздействия 163 ракетами, в том числе на облако №3 запущено 96 ракет.



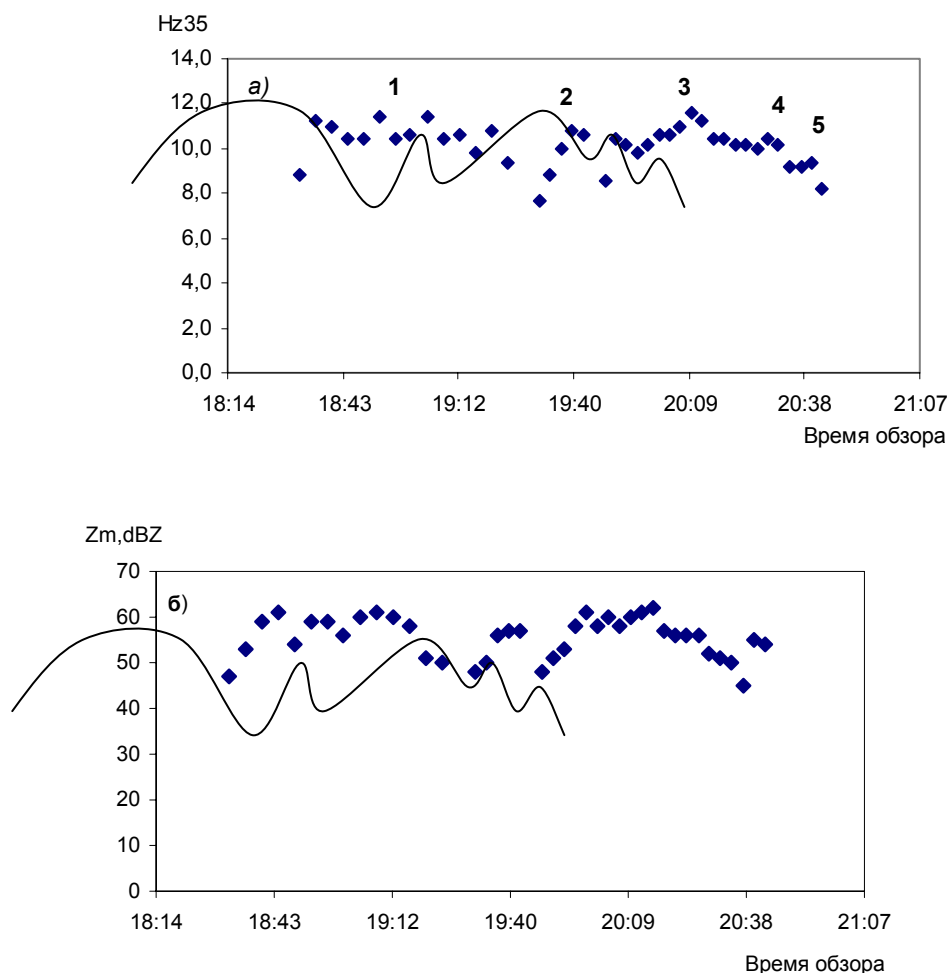
**Рис.3.** Проекция максимальных значений отражаемости облака (дБZ) на подстилающую поверхность. Горизонтальное сечение выполнено на высоте 7км.

В результате воздействий удалось:

- Ослабить интенсивность выпадающего града, а затем и прервать выпадение града из мощного облака № 1.

- Удалось облако №3 вывести из квазистационарной стадии, что в результате привело к локальному выпадению града и незначительному ущербу.

Эффект воздействия проявился в уменьшении размера града и его концентрации. Особенностью процесса, повлиявшего на качество проводимого воздействия, можно считать зарождение и развитие его за границей ЗТ. Правая фронтальная область навеса радиоэха оказалась вне области обстрела ПВ, в результате чего не удалось интенсивно обработать ОВ на ранней стадии развития.



**Рис.4.** Изменение характеристик облака во времени.

а) высота верхней границы радиоэхо;

б) максимальная по облаку радиолокационная отражаемость.

Воздействие осложнялось:

- Развитием мощного облака №3 на ЗТ в области, где количество ПВ ограничено, и большой скоростью (более 60км/час) перемещения, что не



позволяло вносить необходимое для данного случая развития количество реагента одновременно.

- Для прерывания уже сформировавшегося града методикой воздействия (РД 52.37.67-98) предусматривается время около 30 мин.

Степень успешности воздействий, проведенных на мощные и сверхмощные облака, и причины выпадения града различны, но, как правило, избежать ущерба при воздействии на такие облака не удастся. По-видимому, при том энергетическом запасе атмосферы, который реализуется при их развитии, полностью подавить градовый процесс применяемыми средствами воздействия не всегда возможно. Даже в случаях прерывания града облако, как правило, продолжает существовать и в любой момент может регенерировать.

Эффект воздействия на облака такого класса, хотя и не 100%, достигается за счет уменьшения размера града, ширины зоны продолжающих выпадать градовых осадков, перехода облака из стадии непрерывного генерирования града к дискретному или за счет искусственного увеличения времени нахождения облака в градоопасной, а не в стабильной градовой стадии, когда облако в естественных условиях развития дает непрерывную полосу града по всей траектории перемещения.

**Заключение.** На конкретном примере показаны технологии дистанционного обнаружения опасных явлений с помощью автоматизированных МРЛ-5 и методы активных воздействий на них с целью обеспечения безопасности жизнедеятельности населения на защищаемой территории.

На территории ЮФО безопасность жизнедеятельности обеспечивается активными наблюдениями с помощью МРЛ-5 противорадовых служб и аэропортов.

Опасные природные явления обнаруживаются с высокой вероятностью (95%). Что позволяет оповестить местные органы управления о приближающихся грозных и градовых процессах.

Формируемая в ЮФО метеорологическая радиолокационная сеть в перспективе позволит создать методы прогноза паводков, селей, оползней и других опасных явлений.

Совершенствуются методы и средства активных воздействий на мощные грозо-градовые процессы.

Результаты работ в ГУ «ВГИ» и СКВС приводят к снижению природных катастроф, повышают безопасность жизнедеятельности людей, а также снижают материальный ущерб от этих явлений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абшаев М.Т. Жубоев М.М. Температурно-ветровое зондирование кучево-дождевых облаков.- Труды ВГИ, 1976, вып.31, с.32-40.
2. Баттан Л. Дж. Радиолокационная метеорология / Пер. с англ.—

Л.: Гидрометеиздат, 1962. - 196 с.

3. Довгалюк Ю.А. Некоторые особенности развития конвективных облаков.- Метеорология и гидрология, 1968, №6, с.39-47.

4. Довгалюк Ю.А. Егоров А.Д., Станкова Е.Н. и др. Исследование процесса перехода мощного кучевого облака в кучево-дождевое после воздействий / В сб.: Активные воздействия на гидрометеорологические процессы. - Л.: Гидрометеиздат, 1990, с.265-270.

5. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 512 с.

6. Мельников В.М. Обработка информации в доплеровских МРЛ. - Зарубежная радиоэлектроника, 1993, № 4, с. 35-42.

7. Разумов В.В., Притворов А.П., Перекрест В.В., Разумова Н.В., Аджиева А.А. Опасные природные процессы юга европейской части России. Монография. г. Москва. Евразийский институт социально-природных исследований, «Дизайн. Информация. Картография», 2008г. - 315 с.

8. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 230 с.

9. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. РД 52.04.320-91. -Л.: Гидрометеиздат, 1993, с. 358.

10. Степаненко В. Д. Радиолокация в метеорологии. 2-е изд. - Л.: Гидрометеиздат, 1973. 343 с.

11. Шишкин Н.С. Облака, осадки и грозовое электричество. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. 351с.

## ABSTRACT

There is presented the review on carrying out of influences on thunderstorm of North Caucasus Military service, for the purpose of maintenance of safety of the population in protected territory . Materials of radar data supervision over development hailstorm process in the North Caucasus, collected by means of 2 automated МРЛ-5 in radius of 200 km are analyzed.

## АННОТАЦИЯ

Представлен обзор по проведению воздействий на грозо-градовое облако СКВ службой, с целью обеспечения безопасности жизнедеятельности населения на защищаемой территории. Анализируются материалы радиолокационных наблюдений за развитием грозо-градового процесса на Северном Кавказе, собранные с помощью 2 автоматизированных МРЛ-5 в радиусе 200 км.

© А.А. Аджиева,  
В.А. Шаповалов,  
И.Х. Машуков, 2009

# VARIATIONAL BOUNDS FOR MULTIPHASE ANISOTROPIC ELASTIC COMPOSITES WITH SPHERICAL, CYLINDRICAL AND SPHEROIDS GEOMETRIC SHAPE OF INCLUSIONS

*Brito–Santana H., Rodríguez–Ramos R.,  
Guinovart–Díaz R., Bravo–Castillero J., Sabina F.J.  
(Cuba)*

**Keywords:** Variational bounds, multiphase composites, effective properties, homogenization, geometric shape of the inclusions

## ABSTRACT

Using the spherical and deviator decomposition of the polarization and strain tensors, a general algorithm for the calculation of variational bounds for any type of anisotropic linear elastic composite as a function of the properties of the comparison body is presented. This procedure is applied in order to obtain analytical expressions of bounds for multiphase, linear elastic composites with spherical, cylindrical and spheroids geometric shapes of the inclusions. Numerical calculations and some comparisons with other models and experimental data are shown.

## 1. Introduction

Bounds are of interest in both experimental and theoretical work as a tool for validating or invalidating data and theory. In this sense, in the present work, starting from the general expression of the energy derived in [9] for non-linear composites, an application to a particular case of linear elastic composite is studied. The general algorithm for derivation of bounds is developed in Section 2. In section 3, the above algorithm is applied to some particular cases, and the analytic expressions of the variational bounds for isotropic, cubic symmetrical and transversely isotropic materials are derived. Section 4 is devoted to some numerical examples and comparisons with other models. In Section 5 some concluding remarks are given.

The novelty of this contribution concerns the derivation of the variational bounds for any type of anisotropic linear elastic composite with  $q$ -constituents as a function of the properties of the comparison body using spherical, cylindrical and spheroids geometric shapes of the inclusions. This contribution is different to the previous work [] where the effective properties were calculated for plane cases whereas in this study the overall properties are calculated for 3-D dimension. A general algorithm for the calculation is summarized.

## 2. Some considerations related to elastic energy. An approach for calculating bounds

The analytical expressions for the variational bounds of a particular case for a linear elastic composite are obtained using the energy functional given by the formula (42) reported in [9]:

$$\Phi = \frac{1}{2} \int_V (\boldsymbol{\sigma}^c : \boldsymbol{\varepsilon}^c + 2\mathbf{p} : \boldsymbol{\varepsilon}^c - 2\omega^p(\mathbf{p}) + \mathbf{p} : \boldsymbol{\varepsilon}^p) dV. \quad (2.1)$$

Here  $\boldsymbol{\sigma}^c$ ,  $\boldsymbol{\varepsilon}^c$  denote the second order stress and strain tensors, respectively, for the comparison body. The quantities  $\boldsymbol{\varepsilon}^p$ ,  $\mathbf{p}$  are second order polarization strain and polarization tensors. The polarization tensor has been implicitly introduced into the theory of elasticity by Eshelby [10](1957). The name has been coined by Kröner [11](1958) in analogy to the polarization vector in electrostatics. In the present context, it has the meaning of certain mechanical perturbation or "fluctuations".

The function  $\omega^p(\mathbf{p}) = \frac{1}{2} \mathbf{p} : (\mathbf{C} - \mathbf{C}^c)^{-1} : \mathbf{p}$  is the complementary energy related to the potential energy  $W^p(\boldsymbol{\varepsilon}) = \frac{1}{2} \boldsymbol{\varepsilon} : (\mathbf{C} - \mathbf{C}^c) : \boldsymbol{\varepsilon}$  where  $\mathbf{C}$  and  $\mathbf{C}^c$  represent the elastic four rank tensors of the original heterogeneous medium and for the homogeneous comparison body, respectively. Besides  $\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C} : \boldsymbol{\varepsilon}$ ,  $\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2} (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^t)$ ,  $\mathbf{u}$  being the vector displacement.

The derivation of (2.1) involves the solution of two boundary value problems. One of them in a homogeneous medium, i.e. the comparison body, denoted by *Problem A*, and the other one is the solution of an auxiliary problem related to the second order stress polarization tensor  $\mathbf{p}$ , denoted by *Problem B*.

The solution of the *Problem A* is the vector  $\mathbf{u}^c$  and it satisfies the following boundary value problem

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}^c = 0 \text{ on } V, \quad \mathbf{u}^c = \boldsymbol{\varepsilon}^0 \cdot \mathbf{x} \text{ on } \partial V, \quad \text{with } \boldsymbol{\sigma}^c = \mathbf{C}^c : \boldsymbol{\varepsilon}^c. \quad (\text{A})$$

The solution  $\mathbf{u}^p$  of the auxiliary *Problem B* can be found from

$$\nabla \cdot (\mathbf{p} + \mathbf{C}^c : \boldsymbol{\varepsilon}^p) = 0, \text{ on } V, \quad \mathbf{u}^p = 0 \text{ on } \partial V, \quad \text{with } \mathbf{p} = (\mathbf{C} - \mathbf{C}^c) : \boldsymbol{\varepsilon}^p. \quad (\text{B})$$

Using the average operator  $\langle \bullet \rangle$  on the volume  $V$ , the expression (2.1) can be written in the following form:

$$A \equiv \frac{2\Phi}{V} = \langle \boldsymbol{\sigma}^c : \boldsymbol{\varepsilon}^c \rangle + 2 \langle \mathbf{p} : \boldsymbol{\varepsilon}^c \rangle - 2 \langle \omega^p(\mathbf{p}) \rangle + \langle \mathbf{p} : \boldsymbol{\varepsilon}^p \rangle. \quad (2.2)$$

Each term of (2.2) can be denoted, for simplicity, as follows:

$$A_1 = \langle \boldsymbol{\sigma}^c : \boldsymbol{\varepsilon}^c \rangle, \quad A_2 = 2 \langle \mathbf{p} : \boldsymbol{\varepsilon}^c \rangle, \quad A_3 = -2 \langle \omega^p(\mathbf{p}) \rangle \text{ and } A_4 = \langle \mathbf{p} : \boldsymbol{\varepsilon}^p \rangle.$$

Therefore, the equation (2.2) can be given in an equivalent form as  $A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$ .

Now, consider a composite made of  $q$  components ( $q$ -constituents). The stress polarization tensor  $\mathbf{p}$  depends on the space variable  $\mathbf{x}$ , and the stress

polarization tensor for each constituent  $\alpha$  of the composite is denoted by  $\mathbf{p}_\alpha$ . Therefore, we have  $\langle \mathbf{p} \rangle = \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha \mathbf{p}_\alpha$ , where  $v_\alpha$  is the volume fraction of the component  $\alpha$  in the composite, and  $\sum_{\alpha=1}^q v_\alpha = 1$ .

The quantities  $A_1$ ,  $A_2$  and  $A_3$  can be written as functions of the spherical and deviator contributions of tensors  $\boldsymbol{\varepsilon}$  and  $\mathbf{p}$ . The decomposition is  $\mathbf{p} = \frac{1}{3}pI + \bar{\mathbf{p}}$  and  $\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{3}eI + \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}$ , where  $p$ ,  $e$  are the spherical and  $\bar{\mathbf{p}}$ ,  $\bar{\boldsymbol{\varepsilon}}$  are the deviator parts of the two tensors  $\boldsymbol{\varepsilon}$  and  $\mathbf{p}$  respectively. The identity tensor is denoted by  $I$ .

After some algebraic manipulations, the quantities  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  and  $A_4$  have the following compact and general form in terms of spherical and deviator parts:

$$A_1 = \frac{1}{9}e^2 C_{ijij}^c + \frac{2}{3}e \cdot \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{ij} C_{ijkk}^c + \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{ij} C_{ijkl}^c \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{kl}, \quad (2.3)$$

$$A_2 = \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha \left( \frac{2}{3} p_\alpha e + 2 \bar{p}_{ij\alpha} \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{ij} \right), \quad (2.4)$$

$$A_3 = - \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha p_{ij\alpha} p_{kl\alpha} H_{ijkl\alpha} = - \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha \left[ \frac{1}{9} p_\alpha^2 H_{ijij\alpha} + \frac{2}{3} p_\alpha \bar{p}_{ij\alpha} H_{ijkk\alpha} + \bar{p}_{ij\alpha} H_{ijkl\alpha} \bar{p}_{kl\alpha} \right], \quad (2.5)$$

$$A_4 = T_c \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (p_\alpha^2 - \langle p \rangle^2) + \frac{2}{3} T_{ij_c} \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (p_\alpha \bar{p}_{ij\alpha} - \langle p \rangle \langle \bar{p}_{ij} \rangle) + T_{ijkl_c} \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (\bar{p}_{ij\alpha} \bar{p}_{kl\alpha} - \langle \bar{p}_{ij} \rangle \langle \bar{p}_{kl} \rangle) \quad (2.6)$$

where  $\mathbf{H} = (\mathbf{C} - \mathbf{C}^c)^{-1}$ ,  $T_c = \frac{1}{9} \left[ \langle g_{ij} k_i k_j \rangle - \frac{1}{m^c + k^c} \right]$ ,  $T_{ij_c} = \langle g_{ik} k_k k_j \rangle - \frac{\langle k_i k_j \rangle}{m^c + k^c}$ ,

$T_{ijkl_c} = \frac{k^c}{m^c(m^c + k^c)} \langle k_i k_j k_k k_l \rangle + \langle g_{ik} k_j k_l \rangle - \frac{\langle k_i k_k \rangle \delta_{jl}}{m^c}$  (for details see **Appendix**).

Therefore, the expression for the energy (2.2) can be calculated from the equations (2.3)-(2.6). The derivation of  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) is straightforward, and for  $A_4$  is described in Appendix.

The maximum or minimum of  $A$  can be obtained in terms of the stress polarization tensor  $\mathbf{p}$  from the necessary condition for the existence of extremum applied to the spherical  $p$  and the deviator  $\bar{\mathbf{p}}$  ( $\frac{\partial A}{\partial p_\alpha} = 0$ ,  $\frac{\partial A}{\partial \bar{p}_{ij\alpha}} = 0$ ). In that case, the following system of equations can be obtained:

$$\left[ \frac{1}{9} H_{ijij\alpha} - T_c \right] p_\alpha + \frac{1}{3} [H_{ijkk\alpha} - T_{ij_c}] \bar{p}_{ij\alpha} = \frac{1}{3} e - T_c \langle p \rangle - \frac{1}{3} T_{ij_c} \langle \bar{p}_{ij} \rangle, \quad (2.7)$$

$$\frac{1}{3} [H_{ijkk\alpha} - T_{ij_c}] p_\alpha + [H_{ijkl\alpha} - T_{ijkl_c}] \bar{p}_{kl\alpha} = \bar{\boldsymbol{\varepsilon}}_{ij} - \frac{1}{3} T_{ij_c} \langle p \rangle - T_{ijkl_c} \langle \bar{p}_{kl} \rangle. \quad (2.8)$$

After that, the two unknown quantities  $\langle p \rangle$  and  $\langle \bar{p} \rangle$ , derived from the solution of equations (2.7)-(2.8) are substituted into (2.2) and the following quadratic form, given in an indexed notation, is derived:

$$A = \frac{1}{9} e^2 C_{ijj}^c + \frac{2}{3} e \bar{e}_{ij} C_{ijkk}^c + \bar{e}_{ij} C_{ijkl}^c \bar{e}_{kl} + \frac{1}{3} \langle p \rangle + \langle \bar{p}_{ij} \rangle \bar{e}_{ij}. \quad (2.9)$$

Finally, applying the sufficient condition of extremum  $C_{ijkl} > C_{ijkl}^c$  (maximum),  $C_{ijkl} < C_{ijkl}^c$  (minimum), analytical formulae for the bounds can be derived from (2.9). The analysis of the bounds is conducted for the composite with well ordered q-constituents. The condition  $C_{ijkl} < C_{ijkl}^c$  is satisfied if we take the properties of the comparison body as the properties of the highest q-constituent elastic moduli. On the other hand, the condition  $C_{ijkl} > C_{ijkl}^c$  is satisfied if the comparison body is chosen to be one of least constituent elastic moduli  $C_{ijkl}$ .

### 3. Applications to obtain bounds for effective properties of some elastic composites

In this Section some examples will be considered in order to illustrate the consistence of the above general methodology for obtaining bounds for linear elastic composites.

#### 3.1. Linear elastic composite with cubic symmetry

The elastic anisotropy of a crystal relies on the orientation dependence of the material constants. A cubic material has nine planes of symmetry and the normals of nine symmetric planes are on the three coordinate axes and on the coordinate planes making an angle  $\pi/4$  with the coordinate axes. With the chosen coordinate system along the crystalline directions, the mechanical behavior of a cubic crystal can be characterized by three independent elastic constants:  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  and  $C_{44}$ . The elastic moduli for cubic solids  $C_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) + \mu' \delta_{ijkl}$  where  $\lambda = C_{12}$ ,  $\mu = C_{44}$ ,  $\mu' = C_{11} - C_{12} - 2C_{44}$ ,  $\delta_{ijkl} = 1$  if  $i = j = k = l$  and  $\delta_{ijkl} = 0$  otherwise. The condition for the elastic constants are restricted by  $C_{44} > 0$ ,  $C_{11} - C_{12} > 0$ ,  $C_{11} + 2C_{12} > 0$ .

Let us consider a linear elastic composite with cubic symmetry made of  $q$  linear elastic specimens with cubic symmetry. The standard bulk, transverse and axial shear moduli are given by  $K^c = \frac{C_{11} + (d-1)C_{12}^c}{d}$ ,  $m^c = \frac{C_{11} - C_{12}^c}{2}$  and  $\mu^c = C_{44}^c$  respectively associated to comparison body. The quantities  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  and  $A_4$  (see (2.3)-(2.6)) can be written as:

$$A_1 = K^c e^2 + 2m^c \bar{e}_{ii}^2 + 2\mu^c \bar{e}_{ij} \bar{e}_{ij}, \quad (i \neq j), \quad A_2 = \sum_{\alpha=1}^q v_{\alpha} \left( \frac{2}{d} p_{\alpha} e + 2 \bar{p}_{ij_{\alpha}} e_{ij} \right),$$

$$A_3 = -\sum_{\alpha=1}^q v_{\alpha} \left[ \frac{1}{d^2(K_{\alpha} - K^c)} p_{\alpha}^2 + \frac{1}{2(m_{\alpha} - m^c)} \bar{p}_{i\alpha}^2 + \frac{1}{2(\mu_{\alpha} - \mu^c)} \bar{p}_{ij\alpha} \bar{p}_{ij\alpha} \right], \quad (i \neq j)$$

$$A_4 = a_c \sum_{\alpha=1}^q v_{\alpha} (p_{\alpha}^2 - \langle p \rangle^2) + b_c \sum_{\alpha=1}^q v_{\alpha} (\bar{p}_{ij\alpha}^2 - \langle \bar{p}_{ij} \rangle^2).$$

where,

$$a_c = -\frac{d+2}{d^2(d+2)K^c + d(d-1)(4m^c + 2d\mu^c)}, \text{ and}$$

$$b_c = \frac{d^2(d-1)[(d+2)K^c + 4m^c + 2d\mu^c]}{d(1-d)(2m^c + d\mu^c)[d(d+2)K^c + (d-1)(4m^c + 2d\mu^c)]}.$$

The material constants  $K_{\alpha}$ ,  $m_{\alpha}$  and  $\mu_{\alpha}$  are connected to the  $q$  constituents of the composite.

The expression related to necessary condition of extremum, given by (2.7)-(2.8), leads us to the following system of equations:

$$\left[ \frac{1}{d^2(K_{\alpha} - K^c)} - a_{\alpha} \right] p_{\alpha} + a_c \langle p \rangle = \frac{1}{d} e,$$

$$\left[ \frac{v_{\alpha}}{2(m_{\alpha} - m^c)} - b_c \right] \bar{p}_{ij\alpha} + b_c \langle \bar{p}_{ij} \rangle = \bar{e}_{ij}, \quad i = j,$$

$$\left[ \frac{v_{\alpha}}{2(\mu_{\alpha} - \mu^c)} - b_c \right] \bar{p}_{ij\alpha} + b_c \langle \bar{p}_{ij} \rangle = \bar{e}_{ij}, \quad i \neq j.$$

The optimum is attained when

$$\langle p \rangle = \frac{P_K(d)}{d(1+a_c P_K(d))} e, \quad \langle \bar{p}_{ij} \rangle = \frac{P_m(d)}{1+b_c P_m(d)} \bar{e}_{ij}, \quad (i = j)$$

$$\text{and} \quad \langle \bar{p}_{ij} \rangle = \frac{P_{\mu}(d)}{1+b_c P_{\mu}(d)} \bar{e}_{ij}, \quad (i \neq j), \quad (3.1)$$

where

$$P_K(d) = \sum_{\alpha=1}^q \frac{d^2 v_{\alpha} (K_{\alpha} - K^c)}{1 - d^2 a_c (K_{\alpha} - K^c)}, \quad P_m(d) = \sum_{\alpha=1}^q \frac{2 v_{\alpha} (m_{\alpha} - m^c)}{1 - 2 b_c (m_{\alpha} - m^c)},$$

$$P_{\mu}(d) = \sum_{\alpha=1}^q \frac{2 v_{\alpha} (\mu_{\alpha} - \mu^c)}{1 - 2 b_c (\mu_{\alpha} - \mu^c)}. \quad (3.2)$$

The functional  $A$  defined by (2.9) takes the form:

$$A = K^c e^2 + 2m^c \bar{e}_{ii}^2 + 2\mu^c \bar{e}_{ij} \bar{e}_{ij} + \frac{1}{d} \langle p \rangle e + \langle \bar{p}_{ij} \rangle \bar{e}_{ij}. \quad (3.3)$$

Substituting (3.1) into (3.3), the following quadratic form can be derived:

$$A = \left[ K^c + \frac{P_K(d)}{d^2(1+a_c P_K(d))} \right] e^2 + \left[ 2m^c + \frac{P_m(d)}{1+b_c P_m(d)} \right] \bar{e}_{ii}^2 + \left[ 2\mu^c + \frac{P_{\mu}(d)}{1+b_c P_{\mu}(d)} \right] \bar{e}_{ij} \bar{e}_{ij}, \quad (i \neq j).$$

Setting  $K = K^c + \frac{P_K(d)}{d^2(1+a_c P_K(d))}$ ,  $m = m^c + \frac{P_m(d)}{2(1+b_c P_m(d))}$ ,  $\mu = \mu^c + \frac{P_\mu(d)}{2(1+b_c P_\mu(d))}$  and using (3.2) we obtain:

$$K_L = K_1 + \frac{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha (K_\alpha - K_1)}{1-d^2 a_c^{(1)} (K_\alpha - K_1)}}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{1-d^2 a_c^{(1)} (K_\alpha - K_1)}}, \quad K_U = K_q + \frac{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha (K_\alpha - K_q)}{1-d^2 a_c^{(q)} (K_\alpha - K_q)}}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{1-d^2 a_c^{(q)} (K_\alpha - K_q)}}, \quad (3.4)$$

$$m_L = m_1 + \frac{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha (m_\alpha - m_1)}{1-2b_c^{(1)} (m_\alpha - m_1)}}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{1-2b_c^{(1)} (m_\alpha - m_1)}}, \quad m_U = m_q + \frac{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha (m_\alpha - m_q)}{1-2b_c^{(q)} (m_\alpha - m_q)}}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{1-2b_c^{(q)} (m_\alpha - m_q)}}, \quad (3.5)$$

$$\mu_L = \mu_1 + \frac{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha (\mu_\alpha - \mu_1)}{1-2b_c^{(1)} (\mu_\alpha - \mu_1)}}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{1-2b_c^{(1)} (\mu_\alpha - \mu_1)}}, \quad \mu_U = \mu_q + \frac{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha (\mu_\alpha - \mu_q)}{1-2b_c^{(q)} (\mu_\alpha - \mu_q)}}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{1-2b_c^{(q)} (\mu_\alpha - \mu_q)}}. \quad (3.6)$$

The corresponding expressions of the lower and upper bounds related to these multiphase composites can be obtained, from the above formula, taking into consideration the variational principle reported in [3]. They are applied in the following way, the second terms of  $K$ ,  $m$  and  $\mu$  are increasing functions with respect to  $K^c$ ,  $m^c$  and  $\mu^c$ , therefore the minimum value of  $K$ ,  $m$  and  $\mu$  is achieved if considering the order of the materials  $K_1 < K_2 < \dots < K_q$  for  $K^c$ ,  $m_1 < m_2 < \dots < m_q$  for  $m^c$  and  $\mu_1 < \mu_2 < \dots < \mu_q$ , for  $\mu^c$ , respectively. Finally, we obtain the expressions (3.4)-(3.6) for the bounds as function of the dimension of the space.

As a particular case, a linear isotropic elastic composite made of  $q$  linear isotropic elastic specimens is studied. In that case, the component of the tensor  $\mathbf{C}$  has the form  $C_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk})$ , where  $\lambda$  and  $\mu$  are the Lamé's constants. Finally, we obtain from (3.4)-(3.6) the expression for the bounds as function of the dimension of the space,

$$K_L = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{K_\alpha + \frac{2(d-1)}{d} \mu_1}} - \frac{2(d-1)}{d} \mu_1, \quad (3.7)$$

$$K_U = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{K_\alpha + \frac{2(d-1)}{d} \mu_q}} - \frac{2(d-1)}{d} \mu_q, \quad (3.8)$$

$$\mu_L = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{\mu_\alpha + \frac{\mu_1 [d^2 K_1 + 2(d-2)(d+1)\mu_1]}{2d(K_1 + 2\mu_1)}}} - \frac{\mu_1 [d^2 K_1 + 2(d-2)(d+1)\mu_1]}{2d(K_1 + 2\mu_1)}, \quad (3.9)$$



$$\mu_U = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{\mu_\alpha + \frac{\mu_q [d^2 K_q + 2(d-2)(d+1)\mu_q]}{2d(K_q + 2\mu_q)}}} - \frac{\mu_q [d^2 K_q + 2(d-2)(d+1)\mu_q]}{2d(K_q + 2\mu_q)}. \quad (3.10)$$

The expressions for the bounds (3.7) – (3.10) are the same expressions obtained by [12] (see, formulae (2) – (5), pp. 464).

Notice that the algorithm for the calculation of variational bounds cover both cases (d=2, d=3). The analytic expressions of bounds for isotropic and cubic symmetrical are depending directly on the parameter “d”. In the following section only the plane case d=2 is reported.

### 3.2. Some particular cases of bounds for linear transversely isotropic elastic composites

In this subsection we consider the case when both all constituents of the composite and the global behavior are linear transversely isotropic elastic. Also, some additional restrictions will be taken into account in order to show the derivation, from the above general methodology, of known classical bounds.

#### 3.2.1. Bounds for plane bulk modulus and transverse shear modulus

Let us assume that the q specimens are in plane strain conditions, that is to say, the longitudinal displacement is zero and the transverse displacements are functions of  $x_1, x_2$  only. Hence, the bounds for the two-dimensional case (d=2) are studied. The case d=2 is synonymous to problems (plane strain or plane stress). For example, for the illustration, the plane strain conditions are used; that is to say, the longitudinal displacement is zero and the transverse displacements are function of  $x_1, x_2$  only. These conditions are fulfilled with the choice of surface displacements of the form  $u_3=0, u_i=\varepsilon_{ij}x_j$ . The range of subscripts is 1, 2.

Under particular case of appropriate Hooke's law and boundary conditions (see, [13]) the quantities  $A_1, A_2, A_3$  and  $A_4$  for the plane problem are obtained. Here  $a = 4k^c, b = 3(k^c + m^c) - (k^c - m^c), C_{ijkk}^c = k^c \delta_{ij}$ , where  $k^c = (C_{11}^c + C_{12}^c)/2, k_\alpha = (C_{11_\alpha} + C_{12_\alpha})/2$  and  $m^c = (C_{11}^c - C_{12}^c)/2, m_\alpha = (C_{11_\alpha} - C_{12_\alpha})/2$  are the plane bulk modulus and the transverse shear modulus, respectively. Then, the expressions for the above quantities  $A_i (i=1, \dots, 4)$  are the following:

$$A_1 = k^c e^2 + 2m^c \bar{e}_{ij} \bar{e}_{ij}, \quad A_2 = \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (p_\alpha e + 2\bar{p}_{ij\alpha} \bar{e}_{ij}), \quad A_3 = \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha \left[ \frac{1}{4} (k_\alpha - k^c)^{-1} p^2 + \frac{1}{2} (m_\alpha - m^c)^{-1} \right] \bar{p}_{ij} \bar{p}_{ij},$$

$$A_4 = a_c \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (p_\alpha^2 - \langle p \rangle^2) + b_c \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (\bar{p}_{ij\alpha}^2 - \langle \bar{p}_{ij} \rangle^2),$$

$$a_c = -\frac{1}{4} (k^c + m^c)^{-1}, \quad b_c = -\frac{k^c + 2m^c}{4m^c (k^c + m^c)}.$$

The same necessary conditions for deriving the system of equations (2.7)-(2.8) are taken and it leads us to the following:

$$\left[ \frac{1}{4}(k_\alpha - k^c)^{-1} - a_c \right] p_\alpha + a_c < p > = \frac{1}{2} e, \quad (3.11)$$

$$\left[ \frac{1}{2}(m_\alpha - m^c)^{-1} - b_c \right] \bar{p}_{ij_\alpha} + b_c < \bar{p}_{ij} > = \bar{e}_{ij}, \quad (3.12)$$

Solving (3.11) - (3.12), the following expressions are obtained:

$$< p > = \frac{P_K(2)}{2(1 + a_c P_K(2))} e \quad \text{and} \quad (3.13)$$

$$< \bar{p}_{ij} > = \frac{P_m(2)}{1 + b_c P_m(2)} \bar{e}_{ij} \quad (3.14)$$

where  $P_m(2)$  and  $P_K(2)$  are calculated using (3.2) for  $d = 2$ , but replacing in the last one  $K$  by  $k$ .

Using (3.13) and (3.14), the functional  $A$ , given by formula (2.9), can be written by:

$$A = \left[ k^c + \frac{P_K(2)}{4(1 + a_c P_K(2))} \right] e^2 + \left[ 2m^c + \frac{P_m(2)}{1 + b_c P_m(2)} \right] \bar{e}_{ij} \bar{e}_{ij}.$$

Let us introduce the following notation in the above quadratic form,  $k = k^c + \frac{P_K(2)}{4(1 + a_c P_K(2))}$ ,  $m = m^c + \frac{P_m(2)}{2(1 + b_c P_m(2))}$  and using (3.13) and (3.14) we can write:

$$k = k^c + (k^c + m^c) \left\{ \left[ \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (k_\alpha - k^c) / (k_\alpha - m^c) \right]^{-1} - 1 \right\}^{-1}, \quad (3.15)$$

$$m = m^c + \frac{2m^c(k^c + m^c)}{k^c + 2m^c} \left\{ \left[ \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (m_\alpha - m^c)(k^c + 2m^c) / (m_\alpha(k^c + 2m^c) + m^c k^c) \right]^{-1} - 1 \right\}^{-1} \quad (3.16)$$

Since the second terms from (3.15) and (3.16) are increasing functions with respect to  $k^c$  and  $m^c$ , then taking the good order of the material properties  $k_1 < k_2 < \dots < k_q$  and  $m_1 < m_2 < \dots < m_q$  we can get the analytic expressions of the bounds for the bulk and transverse shear moduli:

$$k_L = k_1 + (k_1 + m_1) \left\{ \left[ \sum_{\alpha=2}^q \frac{v_\alpha (k_\alpha - k_1)}{k_\alpha - m_1} \right]^{-1} - 1 \right\}^{-1}, \quad (3.17)$$

$$k_U = k_q + (k_q + m_q) \left\{ \left[ \sum_{\alpha=1}^{q-1} \frac{v_\alpha (k_\alpha - k_q)}{k_\alpha - m_q} \right]^{-1} - 1 \right\}^{-1}, \quad (3.18)$$

$$m_L = m_1 + \frac{2m_1(k_1 + m_1)}{k_1 + 2m_1} \left\{ \left[ \sum_{\alpha=2}^q \frac{v_\alpha(m_\alpha - m_1)}{m_\alpha + \frac{m_1 k_1}{k_1 + 2m_1}} \right]^{-1} - 1 \right\}^{-1}, \quad (3.19)$$

$$m_U = m_q + \frac{2m_q(k_q + m_q)}{k_q + 2m_q} \left\{ \left[ \sum_{\alpha=1}^{q-1} \frac{v_\alpha(m_\alpha - m_q)}{m_\alpha + \frac{m_q k_q}{k_q + 2m_q}} \right]^{-1} - 1 \right\}^{-1}. \quad (3.20)$$

The expressions (3.17)-(3.20) are the same bounds to (4.30)-(4.33) reported in [13].

### 3.2.2. Bounds for shear modulus in plane parallel to fibres

An analysis of “out-of-plane shear” is done in this section. For a pure shear deformation in a plane parallel to the fibres and perpendicular to the transverse plane, the relation between shear stress and shear strain is governed by the shear modulus  $\mu (\equiv C_{44})$ . Suitable displacement boundary conditions are chosen (see, [13]) and the quantities  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  and  $A_4$  can be written in the following form:

$$A_1 = 2\mu^c \bar{e}_{ij} \bar{e}_{ij}, \quad A_2 = 2 \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha \bar{p}_{ij\alpha} \bar{e}_{ij}, \quad A_3 = - \sum_{\alpha=1}^q \frac{v_\alpha}{2(\mu_\alpha - \mu^c)} \bar{p}_{ij\alpha} \bar{p}_{ij\alpha} \quad \text{and}$$

$$A_4 = b_c \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (\bar{p}_{ij\alpha}^2 - \langle \bar{p}_{ij} \rangle^2), \quad \text{with } b_c = -\frac{1}{4\mu^c}.$$

The conditions (2.7) and (2.8) are reduced to the equation

$$\left[ \frac{1}{2(\mu_\alpha - \mu^c)} - b_c \right] \bar{p}_{ij\alpha} + b_c \langle \bar{p}_{ij} \rangle = \bar{e}_{ij}, \quad (3.21)$$

and the only unknown function  $\langle \bar{p}_{ij} \rangle$  can be written in the form:

$$\langle \bar{p}_{ij} \rangle = \frac{P_\mu(2)}{1 + b_c P_\mu(2)} \bar{e}_{ij}, \quad (3.22)$$

Finally, the functional (2.9) takes the form:

$$A = 2\mu^c \bar{e}_{ij} \bar{e}_{ij} + \langle \bar{p}_{ij} \rangle \bar{e}_{ij}. \quad (3.23)$$

Replacing (3.22) into (3.23) we obtain  $A = [\mu^c + \frac{P_\mu(2)}{2(1 + b_c P_\mu(2))}] \bar{e}_{ij} \bar{e}_{ij}$ .

Letting  $\mu = \mu^c + \frac{P_\mu(2)}{2(1 + b_c P_\mu(2))}$  and due to the term  $\frac{P_\mu(2)}{2(1 + b_c P_\mu(2))}$  is an increasing function with respect to  $\mu^c$ , the analytic expression for the bound  $\mu$  is given by:

$$\mu_L = \mu_1 \left\{ 1 + 2 \left[ \left( \sum_{\alpha=2}^q \frac{v_\alpha(\mu_\alpha - \mu_1)}{\mu_\alpha + \mu_1} \right)^{-1} - 1 \right]^{-1} \right\}, \quad (3.24)$$

$$\mu_U = \mu_q \left\{ 1 + 2 \left[ \left( \sum_{\alpha=1}^{q-1} \frac{v_\alpha (\mu_\alpha - \mu_q)}{\mu_\alpha + \mu_q} \right)^{-1} - 1 \right]^{-1} \right\}. \quad (3.25)$$

The bounds (3.24)-(3.25) are the same bounds to (5.14) – (5.15) given by [13].

#### 4. Analysis of results

The material parameters used in the calculations are listed in Table 1.

##### Numerical results for composite with isotropic constituents

###### A) Two phase fibrous composite ( $d = 2$ )

The Tables 2 and 3 show the bounds for the normalized plane bulk ( $k$ ) and transverse shear moduli ( $m$ ) obtained in the present model (formulae (3.7)-(3.10)). The isotropic global behavior of the composite is considered. Moreover, the bounds derived in [14] are compared with the present model and their effective coefficients calculated in [15] and [16] by the Asymptotic Homogenization Method (AHM). Notice that, the lower bound of the present model gives a very good estimation of the effective properties  $\bar{k}$  and  $\bar{m}$ .

When our bounds are not tight enough, we expect the lower one to provide a good estimate of the exact result.

Fig. 1 displays the bounds for the axial shear modulus ( $\mu$ ) calculated by (3.24)-(3.25) using three different comparison bodies (isotropic, cubic symmetrical and transversely isotropic) and the effective coefficient derived in [15] and [16] by AHM. The material parameters used are  $m_2 / m_1 = 6.75$ ,  $m_1 / k_1 = 0.3$ ,  $m_2 / k_2 = 0.6$ . The bound using the transversely isotropic comparison body gives a very good estimation for the effective axial shear. The lower bound is a good estimator. The bounds for the plane bulk ( $k$ ) and transverse shear ( $m$ ) moduli are the same for each comparison bodies and they are not shown. In Table 2 and 3 the behaviour of their bounds is given.

###### B) Two phase composite with spherical inclusions ( $d = 3$ ).

Fig. 2 shows the comparison between the bound for  $(\bar{K}/K_1)$  obtained in (3.7)-(3.8) and its effective expression reported in [17] (see, formula (4.1)) for different set of materials, i.e.,  $G_2/G_1 = 22.5$ ,  $G_1/K_1 = 0.33$ ,  $G_2/K_2 = 0.75$  (the subscripts 1 and 2 refers to matrix and inclusions respectively). Five different values of the parameter  $\zeta$  related to the condition (B.27) from [17] with the relation  $0.6 + 8G_1/15K_1 = 0.776$  are considered. From the figure can be seen that as the parameter  $\zeta$  approaches to zero the effective coefficient derived in [17] tends to the lower bound. In particular, for  $\zeta = 0$  the effective coefficient exactly coincides with the lower bound and for the remaining values of  $\zeta$  the effective property yields within the bounds. Besides, Fig. 3 exhibits the same behavior for shear modulus  $(\bar{G}/G_1)$ . Milton and Phan-Thien [18] showed that for  $d = 3$ ,  $\eta$  lies

in the smaller interval  $[5\zeta/21, (16+5\zeta)/21]$ . The lower limit of this interval was taken for the calculations of the parameter  $\eta$ . In this figure, as  $\eta$  approaches to zero the shear modulus tends to the lower bound of  $(\bar{G}/G_1)$  and for  $\eta=0$  the effective property lies within shear effective coefficient.

#### **4.2. Numerical results for composite with cubic symmetry components**

Although it is not shown, a comparison between the variational bounds obtained in (3.4)-(3.6) and the effective coefficients by AHM [19] for the plane bulk ( $k$ ), transverse ( $m$ ) and axial ( $\mu$ ) shears moduli revealed a very good coincidence with the lower bound in all range of the inclusion volume fraction for a fibrous composite ( $d=2$ ) Epoxy matrix and Aluminum fiber. The material parameters were taken from [19].

Figs. 4, shows the behaviour of the bounds for axial ( $\mu$ ) shear modulus in a composite with spherical inclusions ( $d=3$ ). The material constituents are Epoxy and Aluminum [19]. The lower bound is the same with either isotropic or cubic symmetry comparison body. On the other hand, a slight difference can be observed with the upper bound using the above two different comparison bodies. Analogous results are obtained for the bulk ( $K$ ) and transverse ( $m$ ) shear moduli.

#### **4.3. Numerical results for composite with cylindrical shape and transversely isotropic elastic components**

##### **A) Two phase fibrous composite**

Figs.5, 6 and 7 display the bounds for  $k$ ,  $m$ ,  $\mu$  (see formulae (3.17)-(3.20), (3.24) and (3.25)) and their effective properties by AHM [15] and [16]. The comparison body used is transversely isotropic elastic. Notice that the lower bound for  $k$  and  $\mu$  is an excellent effective property for two phase composite with cylindrical fiber made of PZT-5 into a Polymer matrix (see, Table 1). The material parameters were taken from [20].

##### **B) Bounds for the bulk, transverse and axial shear moduli for three phase composite**

The Tables 4 and 5 show the comparison between the bounds reported in the formulas (3.17)-(3.20), (3.24)-(3.25), the effective properties reported in [21] based on mean-field theory and the Mori–Tanaka method and by AHM [15] and [16] for the plane bulk ( $k$ ), transverse ( $m$ ) and axial ( $\mu$ ) moduli. Calculations for different volume fraction of the mesophase and inclusion are considered. The bounds were taken with a transversely isotropic property of the comparison body.

## **5. Conclusion**

In the present paper, an algorithm for the calculations of variational bounds of the effective properties for linear multi-phase elastic composites with different anisotropic constituents is presented. It is a generalization of the procedure described in [22] where only the purely isotropic case was studied. The inclusions of the composite are arbitrary and the bounds are calculated using the decomposition of the stress and strain in terms of deviator and spherical parts. In

particular, using the present methodology, the bounds for all effective coefficients are derived for cubic multiphase elastic composite as function of the dimension  $d$ , the constituent properties and their volume fractions. For the particular isotropic case, these bounds are the same as those reported by Gibiansky and Sigmund [12]. On the other hand, some classical bounds for transversely isotropic linear elastic composite are obtained. The bounds for plane bulk modulus, transverse shear modulus and the shear modulus are reported and they are the same as the bounds reported by Hashin [13]. Some other examples and comparisons with other theories are being studied.

*Acknowledgments The sponsorship CoNaCyT 47218-F Project, México and Project CITMA, Cuba 9/2007, are acknowledged.*

## APPENDIX

The derivation of  $A_4$  is related to the polarization contribution (*Problem B*) and it depends on the unknown polarization displacement  $\mathbf{u}^p$ . This problem is solved using the Fourier transform. Applying the Fourier transform to (B), results in

$$C_{ijkl}^c \omega_j \omega_l U_k = i \omega_j P_{ij}, \quad (1)$$

where  $U_k$  and  $P_{ij}$  denote the Fourier transforms of the functions  $u_k^p$  and  $p_{ij}$ , respectively. On the other hand, the quantity  $A_4$  can be written in the Parsevall form:

$$A_4 = \frac{1}{V} \int p_{ij} \varepsilon_{ij}^p dV_x = \frac{1}{8\pi^3 V} \int P_{ij}(\bar{\omega}) E_{ij}(\bar{\omega}) dV_\omega = \frac{1}{8\pi^3 V} \int P_{ij}(\bar{\omega}) G_{ij}(\bar{\omega}) dV_\omega, \quad (2)$$

where  $\mathbf{P}(\bar{\omega})$  and  $\mathbf{E}(\bar{\omega})$  are the Fourier images of the stress polarization tensor  $\mathbf{p}$  and strain tensor  $\boldsymbol{\varepsilon}$ , respectively, and  $E_{ij} = \frac{1}{2}(G_{ij} + G_{ji})$  with  $G_{ij} = iU_i \omega_j$ .

Now, our aim is to derive the integrand function given in (2) as a function only of the polarization tensor  $\mathbf{p}$ . From (1) it is possible to obtain the components of vector  $\mathbf{U}$  the vector as follows:

$$U_k = i(C_{ijkl}^{c,iso} k_j k_l + C_{ijkl}^{c,rest} k_j k_l)^{-1} \frac{k_j}{\|\boldsymbol{\omega}\|} P_{ij} = i(b_{ik}^{-1} - g_{ik}) \frac{k_j}{\|\boldsymbol{\omega}\|} P_{ij}, \quad (3)$$

where  $\mathbf{i}^2 = -1$ ,  $k_i = \frac{\omega_i}{\|\boldsymbol{\omega}\|}$  are the components of a unit vector associated to  $\boldsymbol{\omega}$ ,  $b_{ik}^{-1}$

are the components of inverse tensor  $\mathbf{B} = C_{ijkl}^{c,iso} k_j k_l \bar{e}_i \otimes \bar{e}_k$ ,  $\mathbf{G} = \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{I} + \mathbf{D}\mathbf{B}^{-1})^{-1} \mathbf{D}\mathbf{B}^{-1} = g_{ij} \bar{e}_i \otimes \bar{e}_j$ ,  $\mathbf{I} = \delta_{ij} \bar{e}_i \otimes \bar{e}_j$  and  $\mathbf{D} = \mathbf{C}^{c,rest} : \bar{k} \otimes \bar{k}$ .

From (3) the following expression can be derived:

$$G_{km} = -(b_{ik}^{-1} - g_{ik}) k_j k_m P_{ij}^*, \quad (4)$$

where  $P_{ij}^*$  is the Fourier image of the component  $p_{ij}^* = p_{ij} - \langle p_{ij} \rangle$ .

From (2) the average  $\langle P_{ij} G_{ij} \rangle = \frac{1}{8\pi^3 V} \int_V P_{ij} G_{ij} dV_\omega$  can be given in the form:

$$\langle G_{ij} P_{ij} \rangle = -\langle b_{ik}^{-1} k_j k_l P_{ij}^* P_{kl} \rangle + \langle g_{ik} k_j k_l P_{ij}^* P_{kl} \rangle, \quad (5)$$

Finally, the quantity  $A_4$  can be split into spherical and deviator parts as follows,

$$A_4 = T_c \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (p_\alpha^2 - \langle p \rangle^2) + \frac{2}{3} T_{ijc} \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (p_\alpha \bar{p}_{ij\alpha} - \langle p \rangle \langle \bar{p}_{ij} \rangle) + \\ + T_{ijklc} \sum_{\alpha=1}^q v_\alpha (\bar{p}_{ij\alpha} \bar{p}_{kl\alpha} - \langle \bar{p}_{ij} \rangle \langle \bar{p}_{kl} \rangle) \quad (6)$$

$$\text{where } T_c = \frac{1}{9} \left[ \langle g_{ij} k_i k_j \rangle - \frac{1}{m^c + k^c} \right], \quad T_{ijc} = \langle g_{ik} k_k k_j \rangle - \frac{\langle k_i k_j \rangle}{m^c + k^c},$$

$$T_{ijklc} = \frac{k^c}{m^c(m^c + k^c)} \langle k_i k_j k_k k_l \rangle + \langle g_{ik} k_j k_l \rangle - \frac{\langle k_i k_k \rangle \delta_{jl}}{m^c}.$$

## REFERENCES

1. Voigt W. (1888) Uber die beziehung zwischen den beiden elastizitatskonstanten isotroper Koerper. Wied Ann. 38: 573-587.
2. Reuss A. (1929) Calculation of low limit of mixed crystals. Z. Angew. Math. Mech. 9: 49-58.
3. Hashin, Z., Shtrikman, S. (1962) On some variational principles in anisotropic and nonhomogeneous and elasticity. J. Mech. Phys. Solids, 10: 335-342.
4. Hashin Z., Shtrikman S. (1963) A variational approach to the theory of the elastic behavior of multiphase materials. J. Mech. Phys. Solids, 11: 127-140.
5. Kroener E. (1977) Bounds for effective elastic moduli of disorder materials. J. Mech. Phys. Solids, 25: 137-155.
6. Milton G.W. (1981) Concerning bounds on the transport and mechanical properties of multicomponent composite materials. Appl. Phys. A26: 125-130.
7. Walpole L. (1966) On bounds for the overall elastic moduli of heterogeneous systems. J. Mech. Phys. Solids, 14: 151-162.
8. Willis J.R. (1977) Bounds and self-consistent estimates for the overall properties of anisotropic composites. J. Mech. Phys. Solids 25: 185-202.
9. Rodriguez-Ramos, R., Pobedria, B.E., Padilla, P., Bravo-Castillero, J., Guinovart-Diaz, R., Maugin, G.A. (2004) Variational principles for nonlinear piezoelectric materials. Arch. Appl. Mech. 74: 191-200.
10. Eshelby, J.D. (1957) The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems. Proc. Roy. Soc. A 241: 376-396.
11. Kröner, E. (1958) Kontinuumstheorie der Versetzungen und Eigenspannungen, Ergebn. Angew. Math. 5 (Springer Verl., Berlin).
12. Gibiansky, L.V., Sigmund, O. (2000) Multiphase composites with extremal bulk modulus. J. Mech. Phys. Solids, 48: 461-498.

13. Hashin, Z. (1965) On elastic behaviour of fibre reinforced materials of arbitrary transverse phase geometry. *J. Mech. Phys. Solids*, 13: 119 – 134.
14. Eischen, J. W., Torquato, S. (1993) Determining elastic behavior of composites by the boundary element method. *J. Appl. Phys.* 74: 159-170.
15. Guinovart-Díaz, R., Bravo-Castillero, J., Rodríguez-Ramos, R., Sabina, F.J. (2001) Closed-form expressions for the effective coefficients of fibre-reinforced composite with transversely isotropic constituents.I: Elastic and hexagonal symmetry. *J. Mech. Phys. Solids* 49:1445–1462.
16. Rodríguez-Ramos, R., Sabina, F.J., Guinovart-Díaz, R., Bravo-Castillero, J. (2001) Closed-form expressions for the effective coefficients of fibre-reinforced composite with transversely isotropic constituents.I: Elastic and square symmetry. *Mech. Mat.* 33:223–235.
17. Torquato, S. (1998) Effective stiffness tensor of composite media: II. Applications to isotropic dispersions. *J. Mech. Phys. Solids*, 46: 1411-1440.
18. Milton, G. W. and Phan-Thien, N. (1982) New bounds on the effective moduli of two-component materials. *Proc. Roy. Soc. A* 380: 305-331.
19. Oscar C. Valdiviezo-Mijangos. (2002) Fiber-reinforced composite with cubic symmetry constituents. *Materials Letters*. 56: 339– 343.
20. Berger, H., Kari, S., Gabbert, U., Rodríguez-Ramos, R., Guinovart-Díaz, R., Otero, J. A., Bravo-Castillero, J. (2005) An analytical and numerical approach for calculating effective material coefficients of piezoelectric fiber composites. *Int. J. Solids Struct.* 42: 5692–5714.
21. Jiang, B., Batra, R. C. (2001) Micromechanical modeling of a composite containing piezoelectric and shape memory alloy inclusions. *J. Int. Mat. Sys. Struct.* 12: 165–182.
22. Pobodrya, B.E. (1984) *Mechanics of Composite Materials*. Moscow State University Press, Moscow, (in Russian).

## TABLE CAPTIONS

Table 1. Material parameters.

Table 2. Comparison of the variational bounds for the effective property  $\bar{k}$  between the present model, AHM and the model reported in [14].

Table 3. Comparison of the variational bounds for the effective property  $\bar{m}$  between the present model, AHM and the model reported in [14].

Table 4. Values of effective moduli for the three-phase composite made of polymeric matrix, cylindrical PZT and Shape Memory Alloy (SMA) inclusions [21]. The SMA material is modeled as Austenite.  $v_p$  is the fiber volume fraction and  $v_s$  is the mesophase volume fraction. Moreover,  $k = (C_{11} + C_{12})/2$ ,  $m = (C_{11} - C_{12})/2$  and  $\mu = C_{44}$ .

Table 5. Values of effective moduli for the three-phase composite made of polymeric matrix, cylindrical PZT and Shape Memory Alloy (SMA) inclusions



[21]. The SMA material is modeled as Martensite.  $v_p$  is the fiber volume fraction and  $v_s$  is the mesophase volume fraction. Moreover,  $k = (C_{11} + C_{12})/2$ ,  $m = (C_{11} - C_{12})/2$  and  $\mu = C_{44}$ .

## FIGURE CAPTIONS

Fig.1. Bounds for the axial shear modulus  $\mu$  using different comparison bodies (with global behaviour isotropic, cubic symmetry and transversely isotropic) and the effective coefficient calculated by AHM.

Fig.2. Dimensionless effective bulk modulus  $\bar{K}/K_1$  vs volume fraction  $v_2$  for random arrays of Glass spheres in a Epoxy matrix. Solid and dashed curves are upper and lower bounds. The remaining curves are the effective bulk modulus  $\bar{K}/K_1$  given by the formula (4.1) [17] for different values of the parameter  $\zeta$  (0, 0.2, 0.4, 0.6 and 0.776).

Fig.3. Dimensionless effective shear modulus ( $\bar{G}/G_1$ ) vs volume fraction  $v_2$  for random arrays of Glass spheres in a Epoxy matrix. Solid and dashed curves are upper and lower bounds. The remaining curves are the effective shear modulus ( $\bar{G}/G_1$ ) given by the formula (4.2) [17] for different values of the parameter  $\eta$  (0, 0.0476, 0.0952, 0.1429 and 0.1848).

Fig.4. Variational bounds for the axial shear  $\mu$  modulus with two different comparison bodies. The composite is Epoxy/Aluminum with spherical inclusions.

Fig.5. Comparison between the variational bounds and AHM for the plane bulk modulus in a composite PZT-5/polymer with cylindrical fiber.

Fig.6. Comparison between the variational bounds and AHM for the transverse shear modulus in a composite PZT-5/polymer with cylindrical fiber.

Fig.7. Comparison between the variational bounds and AHM for the axial shear modulus in a composite PZT-5/polymer with cylindrical fiber.

© H. Brito–Santana,  
R. Rodríguez–Ramos,  
R. Guinovart–Díaz,  
J. Bravo–Castillero,  
F.J. Sabina, 2009

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ, ТЕСТИРОВАНИЯ И ОПЕРАТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕРМАНО-ИНДОНЕЗИЙСКОЙ СИСТЕМЫ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБ УГРОЗЕ ЦУНАМИ (GITEWS)

*Бабейко А.Ю.*

*(Германия, г. Потсдам)*

Катастрофические последствия великого Андамано-Никобарского землетрясения 26 декабря 2004 года [1,2] шокировали мировую общественность: более 250 000 жизней, унесенных в странах бассейна Индийского океана сильнейшим за всю современную историю цунами. Данное событие послужило триггером для целого ряда национальных и международных инициатив, направленных на построение современных эффективных систем раннего оповещения об угрозе цунами.

Германское научное общество Гельмгольца в лице его ведущих институтов: национального центра наук о Земле (Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam), национального центра аэро- и космических полетов (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen) и института полярных и морских исследований (Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven), возглавило совместный германо-индонезийский проект по построению системы раннего оповещения об угрозе цунами для Индонезии (German-Indonesian Tsunami Early Warning System, сокращенно- GITEWS). Проект продолжительностью 5 лет и стоимостью более 50 млн. евро предусматривает создание комплексной мультисенсорной системы раннего обнаружения землетрясений и цунами с учетом опыта предыдущих мировых разработок и основанной на новейших технологиях в области сейсмологии, спутниковых и морских наблюдений, а также современных вычислительных и IT-решениях.

Особенностью GITEWS является тот факт, что густонаселенные побережья индонезийских островов Суматра, Ява, Бали, Ломбок находятся на расстоянии всего-лишь 200-300 км от субдукционного желоба Индо-австралийской океанической плиты. Это означает, что ожидаемое время прихода цунами составляет лишь 20-30 минут после землетрясения. Для сравнения – Тихоокеанская служба оповещения о цунами (PTWC) оперирует временами прихода, измеряемыми несколькими часами. Более того, особенности топографии дна океана к западу от о. Суматра делают характер цунами чрезвычайно зависимым от геометрии землетрясения и от индивидуальных особенностей распределения сдвига по простиранию разлома [3-5]. Все вышеуказанное делает даже очень быстрое определение стандартных параметров землетрясения, таких как магнитуда и гипоцентр, явно недостаточными для надежного предсказания цунами в ближней зоне. Ключевая задача GITEWS – получить в течение 5-10 минут после землетрясения количественную информацию о параметрах разлома с

большой степени детализации нежели предусмотрено в существующих системах раннего предупреждения о цунами.

«Глазами и ушами» GITEWS является мультисенсорная система наблюдений включающая в себя (1) сеть сейсмических станций, (2) сеть GPS-станций, мониторящих упругие деформации литосферы, (3) океанические буи, оснащенные GPS-передатчиками и донными высокоточными датчиками давления для детектирования волны цунами, и (4) сеть береговых измерителей уровня океана. Данная сеть наблюдений работает под управлением и поставляет данные для «мозга» GITEWS – системы поддержки принятия решений (Decision Support System, сокращенно- DSS). DSS сопоставляет наблюдения с предварительно просчитанными сценариями землетрясений и цунами и находит, таким образом, наиболее вероятные сценарии развития процесса. На основе такого сопоставления делаются выводы о степени опасности цунами (ожидаемое время прихода и высота волны) для каждого административного округа на побережье.

Численное математическое моделирование играет принципиально важную роль на всех фазах построения и эксплуатации системы GITEWS. В частности, как было отмечено выше, DSS принципиально использует банк данных виртуальных сценариев для оперативного прогноза. Банк данных содержит несколько тысяч численных сценариев землетрясений и сопутствующих им цунами, насчитанных вдоль всего индо-океанского побережья Индонезии для широкого спектра магнитуд землетрясений  $M_w$  от 7 до 9. В отличие от уже существующих систем, сценарии GITEWS содержат наряду с насчитанными мареограммами на буях также вектора упругих ко-сейсмических деформаций на GPS-станциях. Последние позволяют определить полную магнитуду землетрясения и положение центроида (а для большого землетрясения и характер распределения сдвига по разлому) уже через 2-3 минуты после события [5].

Роль синтетических сценариев не ограничена их применением в оперативной работе системы. Сценарии землетрясений и цунами необходимы кроме того для (а) предоставления комплексных сенсорных наблюдений для целей тестирования и верификации различных компонентов системы поддержки решений, в частности, путем замещения реальных сенсоров их виртуальными аналогами; (б) целей оптимизации сетей морских и наземных наблюдений; (в) предварительного анализа риска и разрушительного потенциала цунами путем быстрого расчета произвольных (но физически взаимосогласованных и реалистичных) моделей землетрясений и цунами; и, наконец, (г) для целей обучения и тренинга будущих ответственных оперативных работников - эксплуатантов системы поддержки решений. Безусловно, записи реальных исторических цунами имели бы преимущественное использование будучи «реальными событиями». Однако, так как реальные цунами являются достаточно редкими и непредсказуемыми явлениями, которые к тому же лишь в последние годы стали эффективно фиксироваться сетями морских и наземных наблюдений,

численное моделирование является, пожалуй, единственным источником взаимосогласованных и когерентных отображений процессов землетрясения и сопутствующего ему цунами одновременно на всех типах сенсоров.

В GITEWS численное моделирование исторически делится на две части: моделированием землетрясения и сопутствующей генерации волны цунами занимается Центр Наук о Земле (GeoForschungsZentrum Potsdam), в то время как вопросами распространения волны и ее взаимодействия с береговой линией занимается Институт полярных и морских исследований (AWI Bremerhaven).

Современные методики и алгоритмы позволяют проводить реалистичное моделирование всех физических процессов связанных с зарождением и распространением цунами, а также их отображение на всех типах сенсоров. В частности, синтетические сейсмограммы равно как и динамический сигнал на GPS-станциях рассчитывается для произвольной модели очага землетрясения в приближении слоистой Земли с использованием функций Грина по оригинальному алгоритму разработанному в GeoForschungsZentrum [6].

Расчет распространения волн цунами и их выбег на берег проводится методом конечных элементов. При этом решаются т.н. нелинейные уравнения «мелкой воды». Конечно-элементная сетка глубин океана и прибрежной топографии базируется в том числе и на новых батиметрических измерениях немецкого исследовательского судна «RV Sonne», а также на результатах специально проведенной детальной спутниковой съемки и имеет максимальное разрешение в районе береговой линии 30-50 метров.

В заключение стоит отметить, что в ходе реализации проекта, группой моделирования GeoForschungsZentrum был предложен и теоретически разработан новый метод быстрого (2-3 мин) и точного определения полного сейсмического момента землетрясения и его пространственного распределения по разлому на основе данных сети близ-расположенных высокоточных GPS-станций [5]. Эта методика, которая изначально возникла как результат математического моделирования, в настоящее время внедряется на практической основе и укрепляет нашу уверенность в том, что GITEWS сможет решить очень непростую задачу раннего предупреждения о цунами в ближней зоне в течение первых 5-10 минут.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lay, T., et al. (2005), The great Sumatra –Andaman earthquake of 26 December 2004, *Science* 308, 1127–1133.
2. Ammon, C. J., et al. (2005), Rupture process of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake, *Science* 308, 1133– 1139.
3. Hoechner, A., Babeyko, A.Y. and Sobolev, S.V. (2008), Enhanced GPS inversion technique applied to the 2004 Sumatra earthquake and tsunami. *Geophys. Res. Lett.* 35, L08310, doi:10.1029/2007GL033133.

4. Geist, E. L., and R. Dmowska (1999), Local tsunamis and distributed slip at the source, *Pure Appl. Geophys.* 154, 485– 512.

5. Sobolev, S. V., Babeyko, A. Y., Wang, R., Höchner, A., Galas, R., Rothacher, M., Sein, D. V., Schröter, J., Lauterjung, J., Subarya, C., 2007. Tsunami early warning using GPS-Shield arrays. *J. Geophys. Res.* 112, B08415, doi:10.1029/2006JB004640.

6. Wang, R., F. Lorenzo-Martín, and F. Roth (2006), PSGRN/PSCMP—A new code for calculating co- and post-seismic deformation, geoid and gravity changes based on the viscoelastic – gravitational dislocation theory, *Comput. Geosci.* 32, 527– 541.

## ABSTRACT

German-Indonesian Tsunami Early Warning System project (GITEWS) which was started short after the disastrous great Andaman-Nicobar December 2004 earthquake and tsunami should be able to issue reliable tsunami warnings already 5 to 10 minutes on an earthquake. I review the components of the system with special emphasis on novell technologies developed in course of the project and present the role and methods of numerical modeling during system development and future operative work.

## АННОТАЦИЯ

Целью совместной германо-индонезийской системы раннего оповещения об угрозе цунами (GITEWS) является выдача квалифицированного предупреждения в течение всего лишь 5-10 минут после землетрясения. В докладе я представляю структуру и принципы построения системы, делая особый акцент на новых технологиях, разработанных в рамках текущего проекта. Основное внимание в докладе уделено роли и методам численного моделирования процессов землетрясения и цунами на всех этапах построения, тестирования и оперативной деятельности системы.

© А.Ю. Бабейко, 2009

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА КАПЕЛЬ ВОДЫ, КРИСТАЛЛИЗУЮЩИХСЯ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА

**Балкарова С.Б.**  
(Россия, г. Нальчик)

Исследованию процессов кристаллизации одиночных капель, находящихся в подвешенном состоянии в потоке воздуха, посвящено относительно большое количество работ.

В атмосфере образование капель воды, их охлаждение и замерзание происходит в присутствии электрических полей. В связи с этим, целью наших экспериментов является исследование процесса изменения температуры капель воды, находящихся во взвешенном состоянии в потоке воздуха и влияния на этот процесс электрического поля.

В ВГИ разработана экспериментальная установка, с помощью которой можно моделировать свободное парение (витание) гидрометеоров. За счет этого представляется, что коэффициенты теплообмена, существенно отличающиеся для закрепленных сфер, можно уточнить. Эксперименты выполнялись на вновь созданной оригинальной аэродинамической установке [1; 2; 3]. Схема аэродинамической установки представлена на рис. 1.

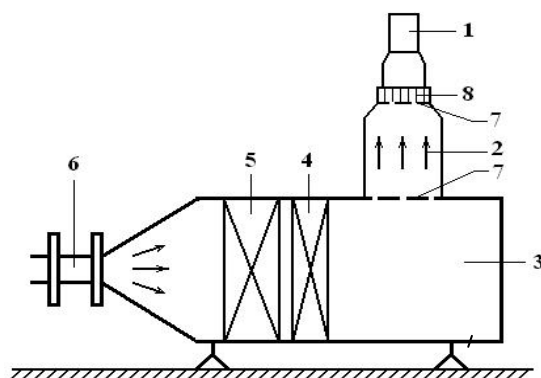


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – рабочая трубка, 2 – сопло, 3 – камера стабилизации, 4 – электронагреватель, 5 – воздухоохладитель, 6 – вентилятор, 7 – металлическая сетка, 8 – ячеистая перегородка.

По принципу действия экспериментальная установка представляет собой частично замкнутую аэродинамическую трубу, работающую при нормальном атмосферном давлении. Основными ее элементами являются: вентилятор, камера стабилизации, холодильная машина, электронагреватель, сопло, измерительный участок и измерительные устройства. Принципиальная схема измерительного участка экспериментальной установки, на которой осуществлялось лабораторное моделирование влияния электрического поля на процесс кристаллизации дождевых капель воды, представлена на рис. 2.

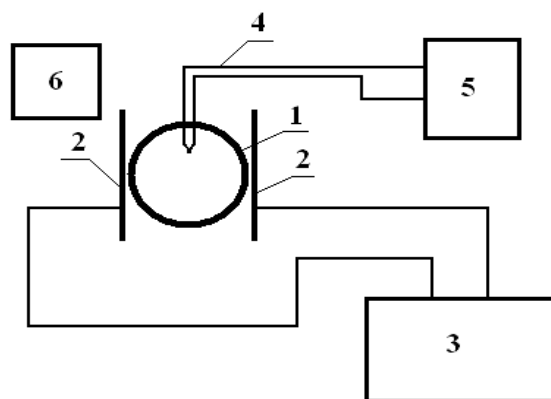


Рис.2. Измерительный участок экспериментальной установки  
 1 – рабочая трубка (вид сверху); 2 – обкладки конденсатора; 3 – Источник высокого напряжения (ИВН); 4 – термопара; 5 – самопишущий потенциометр (КСП-4); 6 – фото- или видеокамера.

На рабочей трубке (1) закреплены обкладки плоского конденсатора (2), на который подается высокое напряжение от источника ИВН-1 (3). Наблюдение за ходом эксперимента производится визуально, с помощью фото- или видеокамеры (6). Температура в рабочем объеме регистрируется с помощью термопары (медь - константан), сигналы от которой записываются на самопишущий прибор – потенциометр КСП - 4.

Для установления действительной картины изменения температуры в процессе замораживания капель жидкости, находящихся в подвешенном состоянии в потоке воздуха, были проведены эксперименты. В качестве рабочей жидкости выступала талая снеговая вода. Эксперименты выполнялись при отсутствии и при наличии электрического поля.

При установившихся характеристиках потока воздуха в аэродинамической установке экспериментально находилась зависимость температуры замерзания капли от времени  $T = f(\tau)$ . Типичный вид такой зависимости представлен на рис. 3. Для сопоставления результатов эксперимента температурный порог кристаллизации в подвешенной капле жидкости исследовался при отсутствии и наличии постоянного электрического поля.

На обобщающей кривой можно выделить три участка, отражающих три физических процесса: охлаждение жидкой фазы 1, затвердевание 2 и охлаждение твердой фазы 3. За счет дендритной кристаллизации образуется ледяная корка (в этот момент выделяется скрытая теплота фазового перехода) и температура капли резко (скачкообразно) повышается до  $0^{\circ}\text{C}$ . На рис. 3. (а) в качестве примера приводится зависимость  $T=f(\tau)$ , полученная при кристаллизации капли дважды дистиллированной воды диаметром 3,86 мм. При средней продолжительности полного замерзания капель дважды дистиллированной воды, равной 67 с, среднее время ожидания момента начала замерзания составило 10 мин. Процессы охлаждения и затвердевания при отсутствии и наличии электрического поля в обоих опытах практически совпадают (рис. 3. (а) и (б)). Однако скачок температуры при наличии

постоянного электрического поля был на  $2^{\circ}\text{C}$  выше, чем при его отсутствии, т.е. электрическое поле влияло на процесс кристаллизации. На процессы тепло - и массопереноса существенное влияние оказывали диэлектрические свойства жидкости при наличии электрических полей в объектах, где наблюдались процессы переноса.

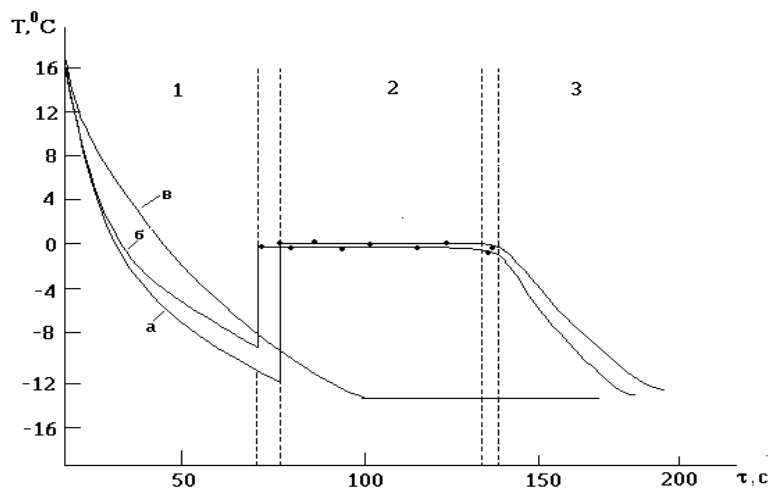


Рис. 3. Экспериментальная зависимость  $T=f(\tau)$

а - при отсутствии электрического поля; б - при наличии электрического поля; в - по данным Т.Н. Громовой и др. при отсутствии электрического поля; 1 - охлаждение капли воды; 2 - затвердевание; 3 - охлаждение замерзшей капли.

Эксперименты в аэродинамической трубе позволили определить полное время затвердевания капель по следующей формуле:

$$\tau_0 = \frac{\rho_l \cdot L_{nl}}{6\lambda_l (T_{nl} - T_n)} \cdot \left( R - \frac{2\lambda_l R}{\alpha^*} \right) \cdot \left( 1 + \frac{c_l (T_{nl} - T_n)}{L_{nl}} \right) \cdot \left( 1 + \frac{c_{жс} \Delta T_n}{L_{nl}} \right) \quad (1)$$

Результаты экспериментального моделирования процесса кристаллизации капель жидкости при отсутствии электрического поля были сопоставлены с работами Т. Н. Громовой и др. (рис. 3. (в)). При средней продолжительности полного замерзания капель дистиллированной воды диаметром  $d=1,2$  мм, равной 70 с, среднее время ожидания момента начала замерзания составило 18 мин.

Из рис. 4 видно, что среднее время ожидания момента начала замерзания по данным Т. Н. Громовой и др. значительно больше, чем в наших экспериментах.

На основе статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение множественной регрессии, связывающее время полного замерзания левитирующих капель воды с температурой среды и размером

$$\tau_k = -0,417 + 2,3 \cdot 10^{-2} d - 0,188 T \quad (2)$$



при коэффициенте корреляции  $R=0,934$  и коэффициенте детерминанта  $D_R=0,869$ .

На рис. 4. приводятся сравнительные кривые среднего времени ожидания момента начала замерзания: 1 – по нашим данным, 2 – по данным Т. Н.Громовой.

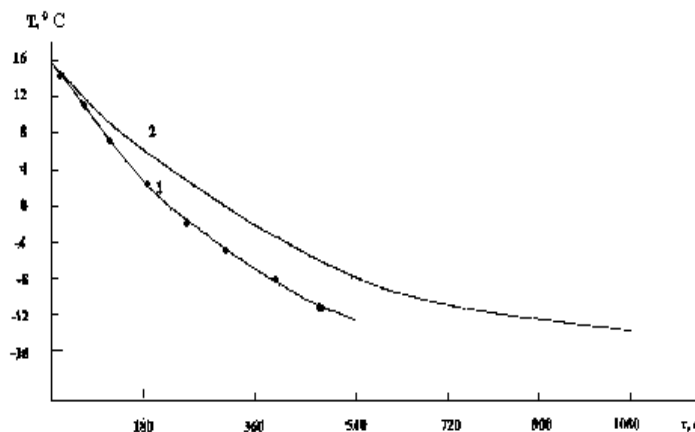


Рис. 4. Среднее время ожидания момента начала замерзания 1 - по нашим данным; 2 - по данным Т. Н. Громовой и др.

График реальной поверхности, связывающий время полного замерзания капле воды с температурой среды и размером, показан на рис.5.

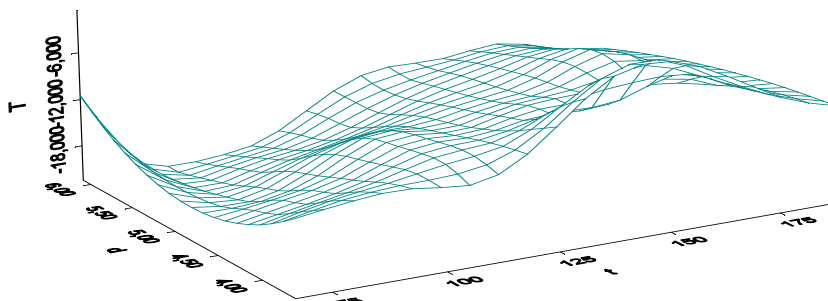


Рис. 5. Реальная поверхность, связывающая время полного замерзания в потоке воздуха капле воды их размеров и температуру среды

В экспериментах по моделированию влияния электрического поля на интенсивность испарения левитирующих капле жидкости измерялись: температура потока воздуха в месте нахождения капли, температура и размер капли, относительная влажность и скорость потока воздуха. Зависимость времени испарения от относительной влажности потока воздуха показана на рис. 6. При доверительной вероятности 0,95 доверительный интервал составляет 7,5 мм, относительная ошибка серии измерений равна 11 %.

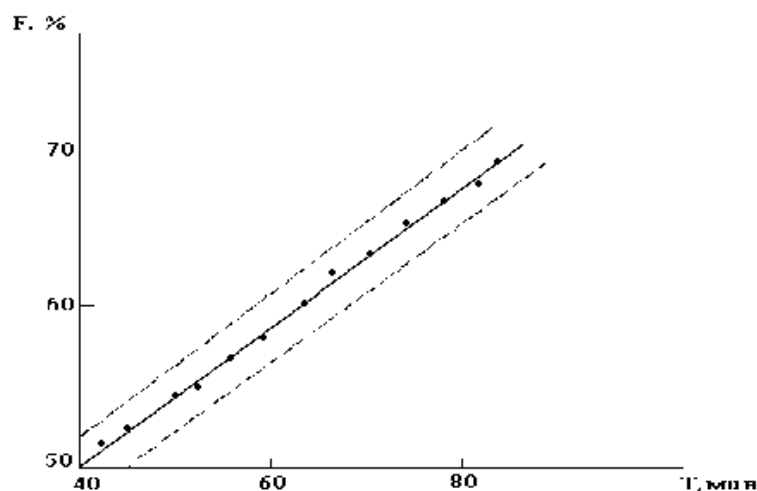


Рис. 6. Зависимость времени испарения от относительной влажности потока воздуха для левитирующих капель диаметром  $d \cong 4 - 5 \text{ мм}$

Эксперименты в аэродинамической трубе позволили определить максимальное время протекания процесса полного испарения и максимальный размер капель воды, витающих в потоке воздуха продолжительное время (до 85 мин), а также получить профиль скорости потока воздуха, необходимый для подвешивания» капли воды в потоке воздуха. Зависимость размера левитирующей капли воды от времени испарения представлена на рис. 7.

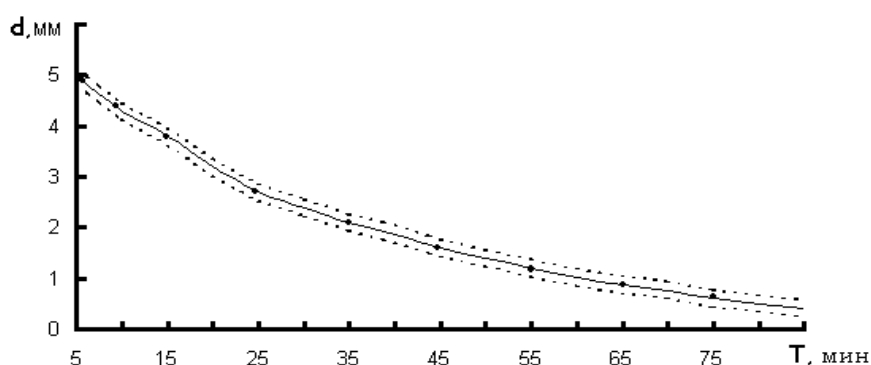


Рис. 7. Зависимость размера капли воды от времени испарения

При вероятности 0,95 доверительный интервал составляет  $\pm 1,67(\text{мм})$ , среднее значение диаметра капли 2,78 мм, изменение диаметра капель через определенные промежутки времени составило примерно 0,5 мм. Относительная ошибка результата серии измерений по определению  $d$  равна 5,9%.

Для установления действительной картины процесса изменения температуры капель жидкости, находящихся во взвешенном состоянии в

потоке воздуха, следовало выполнить экспериментальное исследование, которое и было осуществлено. В первой серии опытов изучался процесс изменения температуры не дистиллированной (талой снеговой) воды при отсутствии электрического поля. По данным осредненных величин были построены графические зависимости изменения температуры испарения капли от времени при отсутствии электрического поля (рис.8) и наличие электрическом поле (рис.9). При помощи стандартной статистической программы SPSS [4] были получены уравнения кубической зависимости температуры испарения капли при отсутствии и при наличии электрического поля. Максимальный коэффициент корреляции для температуры испарения – времени (без электрического поля) имел место в случае кубической зависимости ( $\kappa = 0,991$ ), а также для квадратичной зависимости ( $\kappa = 0,94$ ), для линейной зависимости он был меньше ( $\kappa = 0,674$ ). Для испаряющейся капли в электрическом поле имели место следующие коэффициенты корреляции: для кубической зависимости ( $\kappa = 0,974$ ), для квадратичной зависимости ( $\kappa = 0,881$ ) и для линейной зависимости ( $\kappa = 0,624$ ). Графики на рисунках 8 и 9 наглядно демонстрируют, что экспериментальная кривая максимально достаточно точно описывается кубическими уравнениями (3) и (4).

Как видно из рисунков 8 и 9 температура со временем меняется не равномерно. В первые секунды испарение капли происходит наиболее интенсивно, в последующие секунды процесс стабилизируется. Таким образом, для интервала времени от 0 сек, до 40 сек при отсутствии электрического поля при температуре окружающей среды  $23,3^{\circ}\text{C}$  и скорости левитации  $9,3 \text{ м/сек}$ , имеем следующую зависимость:

$$t = 19,4177 - 0,889T + 0,0364T^2 - 0,0005T^3 \quad (3)$$

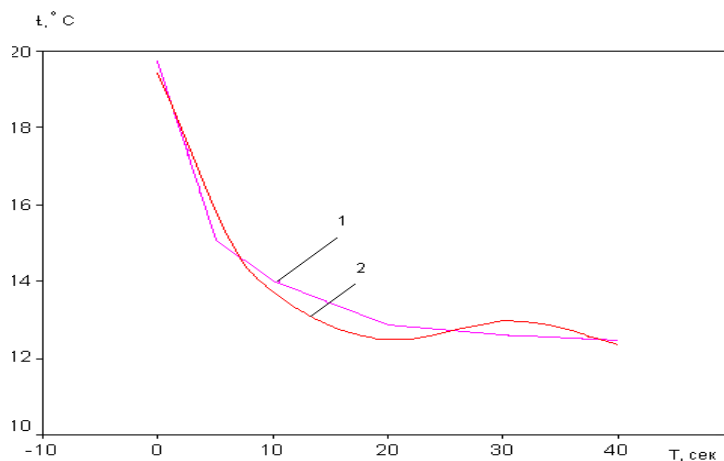


Рис. 8. Изменение температуры капли при испарении при отсутствии электрического поля

1 – экспериментальная, 2 – кубическая.

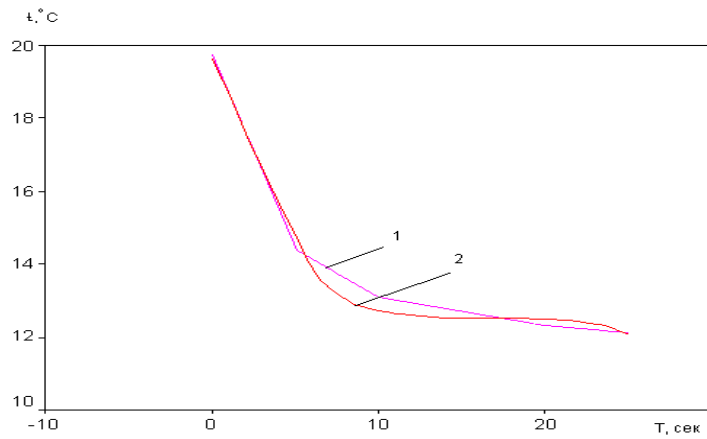


Рис. 9. Изменение температуры капли при испарении в электрическом поле  
 1 – экспериментальная, 2 – кубическая.

Для интервала времени от 0 сек, до 25 сек при напряженности электрического поля 3 кВ/см при температуре окружающей среды 23,3 °C и скорости левитации 9,3 м/сек, имеем следующую зависимость:

$$t = 19,6359 - 1,336T + 0,0364T^2 - 0,0005T^3 \quad (4)$$

Таким образом, в результате экспериментального исследования получена эмпирическая зависимость изменения температуры капли, находящейся во взвешенном состоянии в потоке воздуха при отсутствии и наличии электрического поля. Получены уравнения, описывающие эмпирическую зависимость.

На рисунке 10 показаны осредненные температуры капли при наличии и отсутствии электрического поля, из которого видно, что, во-первых, наиболее интенсивное охлаждение происходит в первые 5 сек, во-вторых, скорость испарения капли в электрическом поле больше скорости испарения капли вне поля также в первые 5 сек.

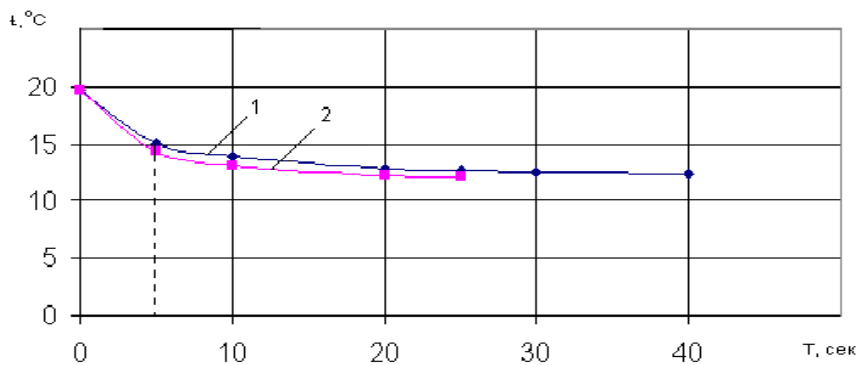


Рис.10. Изменение температуры капли от времени без электрического поля (1) и в электрическом поле (2)

Выясним, значимо ли меняется температура капли при наличии электрического поля при помощи  $t$  – теста для зависимых выборок.  $t$  – распределение позволит вычислить так называемую вероятность ошибки. Высказывания, имеющие вероятность ошибки  $p \leq 0,05$ , принято считать значимыми.

Получили, что вероятность ошибки по  $t$ -тесту составляет  $p = 0,023 \leq 0,05$ , следовательно, высказывание о том, что наличие электрического поля влияет на изменение температуры капли при испарении значимо. Затем, как видно на рисунке 10, процесс теплоотдачи капли, независимо от наличия внешнего электрического поля, стабилизируется. Очевидно, при непосредственном контакте воздуха с поверхностью воды, температура которой выше температуры смоченного термометра, возникают два разнонаправленных тепловых потока. В начальный период времени тепловой поток, обусловленный массопереносом, по абсолютной величине сравним с тепловым потоком, обусловленный разностью температур. В этот период происходит охлаждение жидкости за счет фазового перехода от жидкости к пару. По истечении определенного времени по мере охлаждения капли, происходит стабилизация. Далее, при наложении постоянного электрического поля происходит деформация капель. Они вытягиваются по направлению силовых линий электрического поля. Растяжение капель, по видимому, является одной из причин интенсификации теплообмена. Кроме того, электрические силовые линии, имеющие постоянное направление, способствуют более, более быстрому преодолению сил поверхностного натяжения и отрыву молекул воды с поверхности капель.

Таким образом, лабораторные эксперименты позволили установить, что процесс испарения капли воды, подвешенной в потоке воздуха, протекает наиболее интенсивно в том случае, когда левитирующая капля находится в постоянном электрическом поле напряженностью порядка  $E = 3$  кВ/см, и наименее интенсивно при отсутствии электрического поля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьева В.А., Зорина В.М. Тепло – и массообмен. Тепломеханический эксперимент. // Справочник.- М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
2. Тлисов М.И., Балкарова С.Б., Калов Р.Х. Лабораторное моделирование влияния электрического поля на процесс кристаллизации дождевых капель // Сборник научных трудов 5-ой Российской конференции по атмосферному электричеству. Том I. – Владимир, 2003. – С. 226-229.
3. Федоров В.Г., Бабакин Б.С., Еркин М.А. Влияние электрического поля на тепло-массообмен. Электронная обработка материалов. – 1990. - №1. – С. 30-31.
4. Бююль А., Цефель П. SPSS: искусство обработки информации. Москва – Санкт-Петербург – Киев, 2002.

## **ABSTRACT**

The experimental model method of crystallization and evaporation of water drops, being in air stream, has been worked out. The electric field has been shown to influence the drop processes of evaporation and crystallization. The equation of multiple regression, connecting the time of full drop freezing in air stream with their size and the environmental temperature has been defined.

## **АННОТАЦИЯ**

Разработана методика экспериментального моделирования процессов кристаллизации и испарения капель воды, находящихся в потоке воздуха. Показано, что электрическое поле оказывает влияние на процессы испарения и кристаллизации капель. Получено уравнение множественной регрессии, связывающее время полного замерзания капель в потоке воздуха с их размером и температурой среды.

© С.Б. Балкарова, 2009

# ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ: НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕЦИКЛИНГА

*Беданокв А.Ю., Беитоев Б.З.,  
Микитаев М.А., Микитаев А.К., Сазонов В.В.  
(Россия, г. Нальчик)*

## **1. Общая характеристика полиэтилентерефталата**

Мировое производство пластмасс возрастает на 5 – 6 % ежегодно и, по прогнозам, к 2010 г. достигнет 250 млн. тонн. [1]. Причем, наиболее быстро развивающимся сегодня является рынок полиэтилентерефталата (ПЭТ).

Полиэтилентерефталат произвел настоящую революцию в мире упаковки, коренным образом изменив ситуацию на мировом рынке в этой сфере производства. За последние 10 лет число мировых производителей ПЭТ удвоилось. С начала 1990-х годов двадцатого века по настоящее время наблюдается интенсивное развитие мирового производства ПЭТ. С 1990 по 1995 гг. темпы мирового спроса на ПЭТ в среднем составляли 15% в год, с 1995 по 2000 гг. рост в среднем составлял уже 20 % ежегодно. [2]. Последние несколько лет рост мирового рынка ПЭТ составляет в среднем 10 % в год.

Материалы из ПЭТ были разработаны в начале 1940-х [3-5] и с тех пор показали широкую универсальность их применения в различных сферах жизнедеятельности человека: в легкой, пищевой промышленности, в станко- и приборостроении, в машиностроении [6], в медицине и фармацевтике.

Полиэтилентерефталат прекрасно подходит для изготовления различных пленок [7], упаковок и емкостей. Высокие потребительские свойства тары, изготовленной из ПЭТ, обеспечили этому материалу стремительный рост в производстве упаковки для напитков и пищевых продуктов [6]. ПЭТ-тара в настоящее время активно вытесняет такие традиционные виды сырья для упаковки, как стекло и картон.

Важной особенностью полиэтилентерефталата является то, что вторичный материал на его основе достаточно легко поддается переработке. Важно и то, что вторичный ПЭТ гомогенизируется легче, чем другие вторичные пластмассы [8]. Эти особенности вторичного полиэтилентерефталата позволили ему стать на сегодняшний день самым перерабатываемым пластиком в мире с широкими возможностями использования, начиная с гранул и пленок для упаковки, заканчивая предметами одежды, ковров, багажа и офисной мебели, аудио-видео пленкой [9]. Чаще всего ПЭТ-отходы используются повторно для производства пластиковых бутылок, пленок и волокон [8]. Так, например, в США из вторичного ПЭТ производится почти половина всех полиэфирных волокон [11].

Таким образом, в мире с конца прошлого столетия наблюдается формирование рынка вторичного полиэтилентерефталата, который тесно связан как с экологическими, так и с экономическими аспектами. Общемировой объем переработки вторичного ПЭТ сегодня достигает 1 млн. тонн ежегодно [8].

## 2. Источники образования отходов ПЭТФ

По мере того как спрос на ПЭТ растет, естественно увеличивается количество отходов. Сегодня отходы ПЭТ составляют более 30% от всех отходов пластмассы, 80% которых сейчас перерабатываются [11].

Отходы ПЭТ образуются на всех стадиях процесса переработки сырья в изделия (экструзия, литье, прессование, вакуум-формование, выдувание из заготовки) и имеют, поэтому самые разнообразные формы и размеры — от маленьких обрезков до больших компактных кусков или разной конфигурации литников и облоев [12]. Например, процесс вакуум-формования листовых материалов сопровождается образованием ПЭТ-отходов в количестве 15-35 % от полной производительности экструдера. Причем, удельные показатели образования отходов увеличиваются при уменьшении размера литьевых изделий. Объем отходов ПЭТ при изготовлении преформ составляет 0,6-0,9 % в зависимости от сырья и применяемых технологий, а при изготовлении емкостей из преформ в среднем образуется 0,3 % отходов полиэтилентерефталатов [13].

Однако, основной вклад в состав отходов ПЭТ вносят пластиковые бутылки из-под напитков [8]. Особенно это характерно для России, где более 90% ПЭТ-гранулята используется для изготовления ПЭТ-преформ (рис.1), из которых в дальнейшем выдуваются бутылки.

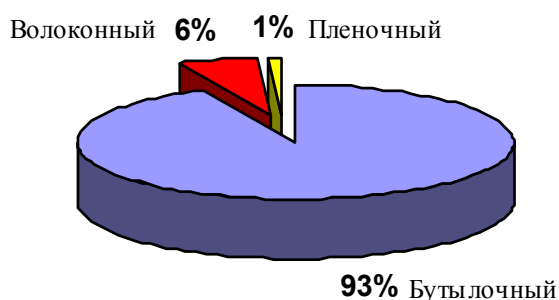


Рис.1. Структура потребления ПЭТ гранулята в России (2004г) [14].

Сегодня в РФ перерабатывается в ПЭТ-бутылки более полумиллиона тонн ПЭТ и, соответственно, столько же образуется отходов высококачественного полимера широкого спектра применения [15]. Причем, на долю одной только Москвы ежегодно приходится около 60 тысяч тонн отходов полиэтилентерефталата, что соответствует 1 млрд. единиц напитков в таре из полиэтилентерефталата [16; 17].

## 3. Организация сбора и подготовка отходов к переработке

Организация сбора и подготовка отходов полиэтилентерефталата к переработке является одним из серьезных экономических факторов формирования рынка вторичного ПЭТ. Дело в том, что для загрязненных и смешанных отходов затраты на их подготовку к использованию в качестве вторичного сырья могут превосходить стоимость первичного сырья. Увеличению затрат на сбор и переработку отходов полиэтилентерефталата



способствует высокая доля ручного труда при сборе и сортировке отходов, использование во многих случаях импортного, т. е. более дорогостоящего оборудования, постоянный рост в последние годы затрат на энергоресурсы, высокий уровень налогообложения [18]. Современные технологии позволяют снизить расходы на сбор вторичного ПЭТ до 50 % себестоимости промежуточного продукта переработки ПЭТ (так называемые «флекссы» — хлопья размером 5-10 мм различной степени чистоты) [19].

Частично вторичный полиэтилентерефталат собирается и заготавливается на промышленных предприятиях, где образуются производственные отходы в процессе переработки сырья в изделия. Однако основной объем сбора приходится на бывшие в употреблении ПЭТ-бутылки.

Первичную сортировку ПЭТ-бутылок проводят в приемных пунктах и на мусоросортировочных заводах, а также на свалках, при этом основное внимание уделяется сортировке по цвету. Идентификация бутылок, не вызывает затруднений поскольку все бутылки из-под напитков изготовлены из ПЭТ, а на бутылках из-под других жидкостей, изготовленных из ПЭТ, нанесена маркировка – знак рециклинга с цифрой «1» [20]. Собранные бутылки обычно прессуются в кипы, и отправляются на переработку.

#### 4. Основные направления переработки вторичного ПЭТ

Выделяют несколько основных направлений переработки вторичного полиэтилентерефталата [21-32], которые условно можно разделить на три основные группы: механические, химические и термические (таблица 1)

Таблица 1

Основные способы переработки вторичного полиэтилентерефталата [33]:

| Способ переработки ПЭТ-отходов | Возможная степень загрязнения отходов | Доля способа переработки в общем объеме перерабатываемых отходов, % | Области применения веществ, полученных в результате переработки                                                                                                  |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Механический                   | Низкая и частично средняя             | 70-75                                                               | Для упаковок, производства волокон (напольные покрытия, искусственная шерсть, спортивная одежда), конструкционный пластик для автомобилестроения, строительства. |
| Химический                     | Средняя                               | 5                                                                   | Получение полиэфиров для производства клеев, покрытий и исходного сырья для повторного синтеза ПЭТ                                                               |
| Термический                    | Сильная                               | 20-21                                                               | Сжигание для получения тепловой энергии или пиролиз для получения жидких и газообразных топлив.                                                                  |

Рассматривая подробнее варианты утилизации и рециклинга ПЭТ, можно выделить следующие методы:

**Захоронение.** Самый бесперспективный вариант, поскольку ценное полимерное сырье закапывается, а огромные территории становятся непригодными для сельскохозяйственных нужд.

**Сжигание.** Этот метод активно используют, например, в США, а вырабатываемая при этом энергия используется для нужд населения [23]. Метод экологически небезопасен. Кроме того, сжигание не является экономически целесообразным [31]:

**Радиодеструкция.** Метод подразумевает разрушение химических связей макромолекул полимеров с помощью нейтронов, гамма-излучения, бета-частиц, что способствует процессам фото- и термоокислительной деструкции, и образованию низкомолекулярных продуктов, которые могут быть задействованы в биоциклических процессах. В России этот метод практически не используется [32].

**Термическое разложение.** Термическое разложение – способ утилизации вторичного полимерного сырья, при котором оно «распадается» на низкомолекулярные соединения. Сюда относятся: пиролиз и каталитический термолиз. Так, в США при переработке пластиковой тары из ПЭТ получают мономеры – диметилтерефталат и этиленгликоль, которые, в свою очередь, снова применяются для получения ПЭТ [23,31].

**Химический рециклинг ПЭТ - сольволиз.** При сольволизе ПЭТ подвергается деполимеризации при взаимодействии с химическими веществами, такими как, метанол (метанолиз с получением мономера диметилтерефталата); этиленгликоль (гликолиз с получением мономера бисгидроэтилтерефталата); кислоты (гидролиз с получением терефталевой кислоты) или щелочи (омыление) [34]. Методы сольволиза достаточно энергоемки, требуют высокотехнологичного оборудования и поэтому весьма дорогостоящи. Однако эти методы дают возможность использовать сырье более низкого качества, поскольку химические процессы позволяют производить дополнительную очистку.

Данное направление предполагает, например, проведение процесса деполимеризации отходов ПЭТ нейтральным гидролизом до терефталевой кислоты и этиленгликоля, снова идущих на синтез ПЭТ. Процесс является непрерывным. Это наиболее распространенный, экономичный и безопасный для окружающей среды способ переработки отходов ПЭТ [12].

Весьма распространенным способом химической переработки отходов полиэтилентерефталата является гликолиз и поликонденсация вторичного ПЭТ с добавлением ненасыщенных многоосновных кислот или их ангидридов с целью получения сравнительно недорогой ненасыщенной полиэфирной смолы.

Процесс деполимеризации является относительно дорогим способом переработки вторичного ПЭТ поскольку предполагает значительные энергетические затраты или использование дорогих химических продуктов.

Продукты деструкции ПЭТ из устаревших отходов широко используют снова в синтезе ПЭТ, для получения пластификаторов, лаков, материалов для покрытий и др.

**Грануляция.** Для переработки ПЭТ-отходов используют дробилки, мельницы, грануляторы. Под механическим и тепловым воздействием отходы переходят в смолоподобное состояние. Затем на выходе из гранулятора расплав продавливают через калибровочные отверстия и нарезают на гранулы, которые затем охлаждаются [35]. Иногда этот процесс проводят с использованием различных стабилизаторов, модификаторов, красителей и других добавок, повышающих качество гранулята.

Вторичный полиэтилентерефталат может быть использован в качестве добавки для улучшения физико-механических или электромеханических характеристик другого полимера [12].

**Агломерация.** Равномерность загрузки пленочных отходов в перерабатывающее оборудование после промывки обеспечивается агломерацией. При агломерации из пленки получаются окатыши (компактные зерна) произвольной формы с достаточно высокой насыпной плотностью и хорошей сыпучестью [36].

Агломерация менее энергоемка, более производительна, чем грануляция и поэтому позволяет снизить расходы на подготовку материала к дальнейшей переработке. Кроме того, агломерация протекает без изменения молекулярной массы материала при этом в процессе агломерации возможно введение в полимер красителей, стабилизаторов, наполнителей [36]. Наиболее эффективны дисковые агломераторы непрерывного действия, когда отходы ПЭТФ, измельченные до размера хлопьев 5-10 мм, непрерывно подаются в зону агломерации. [12].

**Экструзия.** Распространенный способ переработки измельченных отходов полиэтилентерефталата с использованием как одно-, так и двухшнековых экструдеров.

ПЭТ перерабатывается литьем под давлением во всех типах литьевых машин, предназначенных для переработки термопластов [12, 13].

Отмечается [8], что применение соэкструзии смесей из переработанного вторичного и первичного ПЭТ улучшает реологические свойства вторичного полимера и делает его более пригодным для выдува.

Возможен вариант, когда для литья ПЭТ смешивают с полиэтиленом высокого давления и модификаторами до получения композиции, по свойствам близкой к литьевому лавсану с температурой расплава - 250-260 °С [13]. Полностью аморфная структура получается при температуре формы 50 °С. Аморфные изделия обладают лучшей стойкостью к ударным нагрузкам, но более низкой температурой эксплуатации [12, 35].

**Переработка «бутылка-в-бутылку» (bottle-to-bottle).** Этот способ объединяет все методы получения продукта, который можно снова использовать для производства пищевой упаковки и бутылок для напитков. Несмотря на то, что в странах Европы рециркуляция "бутылка в бутылку"

осваиваться относительно недавно (упаковка, изготовленная из вторичного сырья, в соответствии с законодательством ЕС не допускалась к контакту с продовольствием), уже в 2004 году переработка уже использованных ПЭТ-бутылок достигла 500 тысяч тонн, что дало 20%-ный рост их использования [37]. В США данный вид переработки развивается уже в течение многих лет и еще более развит чем в Европе. [12, 13].

При переработке по принципу «бутылка в бутылку» может применяться так называемая «многослойная технология», когда вторичный полиэтилентерефталат оказывается между двумя слоями первичного полимера. Многослойные бутылки могут содержать до 50 % вторичного ПЭТ, причем отдельные емкости могут включать и большие количества вторичного материала. Эта технология используется сегодня во многих странах, например в Швейцарии, Швеции и США [13].

Методы переработки вторичного полиэтилентерефталата расширяются и совершенствуются. Интересными являются направления рециклинга ПЭТ за счет создания на его основе нанокompозитных материалов с использованием различных нанонаполнителей (органомодифицированные алюмосиликаты, нанотрубки, фуллерены и др.) или методом переэтерификации вторичного ПЭТ ди- и триэтиленгликолем с целью получения низкоплавких сополиэфиров [38, 39].

Большое внимание при переработке вторичного полиэтилентерефталата уделяется очистке и отмывке ПЭТ-отходов, поскольку это позволяет значительно повысить качество получаемых из них изделий. Поэтому технологии этих процессов постоянно совершенствуются. Наиболее простым и экономичным способом очистки принято считать отмывку отходов ПЭТ в водных и неводных средах на аппаратах непрерывного или периодического действия. Обычно, очистка ПЭТ-отходов производится в две-три ступени, затем очищенный материал измельчается и сушится до 0,5 % остаточной влажности [13].

Еще недавно считалось, что чем больше воды используется в процессе очистки вторичного ПЭТ, тем лучше отмывается материал. Поэтому широкое распространение получили «мокрые» дробилки (материал попадает в воду уже на этапе предварительного дробления), пропитывающие шнеки (транспортируют предварительно замоченный в воде материал), многоэтапные моечные комплексы периодического действия. В итоге требуемая чистота материала достигалась беспрецедентно большим потреблением воды, а, следовательно, и использованием сложнейшей системы водоочистки. Компания В+В Anlagenbau GmbH недавно предложила оригинальную «сухую» технологию очистки ПЭТ-отходов. Разработанное компанией устройство очищает материал на 96 % уже на сухом этапе переработки, что позволяет снизить потребление воды, как минимум, в три раза (как следствие, снижаются и расходы на водоочистку). Высокая степень очистки достигается за счет использования повышенного трения предварительно измельченных ПЭТ-отходов (хлопьев), что приводит к

осыпанию и дальнейшему извлечению основной массы поверхностных загрязнений (песок, пыль, бумага, часть клея и т.п.) [40].

Таким образом, бывшие в употреблении пластмассовые изделия могут быть использованы вторично. Во многих странах принимаются программы по решению проблем, связанных с рециклингом ПЭТ. Так в США существует национальная программа по переработке полиэтилентерефталатной тары. В западной Европе каждая третья ПЭТ-бутылка изготовлена из вторичных материалов [24, 26-31, 41].

### 5. Направления использования вторичного ПЭТ

Область применения перерабатываемых ПЭТ-отходов определяется их молекулярными весами, которые рассчитываются исходя из их характеристической вязкости. В таблице 2 приведен диапазон ее значений для различных областей применения ПЭТ [12].

Таблица 2.

*Характеристическая вязкость ПЭТ в зависимости от области применения [12]*

| Область применения    | Вязкость  |
|-----------------------|-----------|
| Намотка (волокно)     | 0,6-0,65  |
| Выдув (бутылка)       | 0,75-0,80 |
| Намотка (шинный корд) | 0,35      |
| Melt-blown            | 0.35-0.8  |
| Экструзия (пленки)    | 0,5-0,8   |

Основные направления использования вторичного полиэтилентерефталата представлены на рис.2.

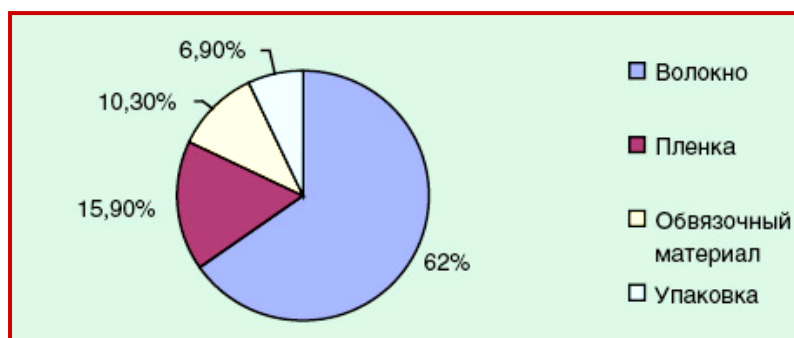


Рис.2. Направления использования вторичного ПЭТ [42].

Как видно из рисунка 2 важной областью применения вторичного ПЭТ является производство волокон. Например, в США и Западной Европе основная масса ПЭТ-бутылок идет на получение волокон и нетканых материалов. Это обусловлено тем, что в процессе вторичной переработки вязкость бутылочных марок ПЭТ существенно снижается (с 0,8 до 0,4 – 0,6), особенно при недостаточной сушке материала [43]. Тем не менее, ПЭТ-

волокно, формируемое из вторичной основы, имеет механические свойства, удовлетворяющие условиям производства широкой гаммы продуктов: текстиль, тканые основы для производства одежды и ковровых покрытий для жилых и офисных помещений, обивки для автомобилей и т.д. [12]. Процесс формования волокна требует от пластифицируемого вторичного полимера тех же реологических свойств (градиента скорости потока и неизотермального вытягивания), которыми обладает первичный полимер. Волокнистый материал, полученный из вторичного полиэтилентерефталата, можно использовать в качестве сорбента на очистных сооружениях АЗС, в качестве утеплителя или наполнителя [44]. Волоконные полотна из ПЭТ, изготовленные по технологии melt-blown, применяются для производства шумоизолирующих материалов, геотекстиля, фильтрующих и абсорбирующих элементов, синтепона. [12].

Около 70 % всего вторичного европейского ПЭТ уходит на производство волокон. Волокна большого диаметра используются как утеплитель спортивной и зимней одежды, спальня мешков и как наполнитель для мягких игрушек.

В Китае, признанном центре текстильной индустрии, также активно развиваются технологии переработки вторичного ПЭТ в волокно. Например, китайская компания Jiangyin Changlong Chemical Fiber Co., Ltd., активно продвигает технологии производства полиэфирного волокна из ПЭТ-отходов как на внутреннем, так и на российском рынке. По мнению руководства компании, этот бизнес выгоден в экономическом и социальном плане [11].

Реологические и физико-механические свойства вторичного ПЭТ позволяют использовать его при изготовлении емкостей для моющих средств, что делает его хорошей альтернативой поливинилхлорида (ПВХ) и полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) [12].

Вторичный ПЭТ обычно применяется для изготовления упаковки, не предназначенной для хранения пищевой продукции и напитков. Однако некоторые компании разработали так называемые суперчистые технологии вторичной переработки ПЭТ (Super-Clean-Recycling) и уже применяют их в промышленном производстве бутылок для напитков. [45]

Кроме того, вторичный ПЭТ можно использовать в качестве сырья при производстве клеев, эмалей [37]. Он также находит широкое применение в производстве конструкционных материалов для строительства, композиционных материалов для машиностроительной промышленности и др.

В России разработана и запатентована промышленная технология получения различных композиционных материалов на основе вторичного полиэтилентерефталата с различными наполнителями (древесные опилки, отсева гравийного производства, бой стекла, пылевидная зола ТЭЦ). Эксплуатационные свойства таких композитов (табл.3.) [46] позволяют изготавливать из них такие изделия, как кровельная черепица, тротуарная плитка, листовые материалы и т.д.

*Общие физико-механические и функциональные свойства строительных материалов на основе ПЭТ, в зависимости от материала наполнителя [46]*

|                                        |                     |
|----------------------------------------|---------------------|
| Модуль упругости (испытания на сжатие) | 350 - 1000 МПа      |
| Предел прочности на сжатие             | 50 - 75 МПа         |
| Твердость (HRB)                        | 60 - 80             |
| Плотность                              | 1,2 - 1,8 г/куб. см |
| Теплопроводность                       | 0,13-0,21 Вт/К      |
| Водопоглощение                         | не более 0,6%       |
| Морозостойкость                        | Не менее 200 циклов |

Кроме того, из отходов ПЭТ и минеральных наполнителей (золы, песка) получают полимербетон - прочный и долговечный материал, который имеет разнообразное применение. Оптимальное соотношение наполнителя и смолы составляет 9:1 [12].

Благодаря высокой теплотворной способности вторичный ПЭТ может быть использован и в качестве добавки к твёрдому топливу для промышленных установок [37].

Небольшой объем вторичного ПЭТ находит применение в изготовлении автомобильных компонентов, электротехнических изделий, различной фурнитуры методом литья под давлением.

Классическими стали такие продукты и вторичного ПЭТ, как лист (для производства пластмассовых коробок и контейнеров) и бандажная лента (для промышленных целей). Приблизительно 9 % общего объема использования вторичного ПЭТ занимают различные контейнеры и пластмассовые коробки (для ягод, для яиц и т.д.) [44].

## **6. Развиваемые направления рециклинга ПЭТ**

Для решения задачи рециклинга полиэтилентерефталата нами проводятся исследования в области модификации и применения следующих подходов:

*1) Применение удлинителя цепи, введенного в небольших количествах (от 0,5 до 3%), позволяет восстановить исходное значение молекулярной массы.*

Одним из возможных методов рециклинга вторичного полиэтилентерефталата является его химическая модификация посредством введения в полимерную матрицу ПЭТ в процессе переработки удлинителей цепи (различных модификаторов).

Такие модификаторы являются бифункциональными органическими соединениями, т.к. имеют по две расположенные в плоскости бензольного кольца активнее группировки. Плоское пространственное расположение гетероциклов и

их напряженное состояние способствует внедрению модификаторов в структуру полимеров при переработке.

Стабилизирующее действие таких модификаторов при термической, термоокислительной и термогидролитической деструкции термопластов основано на их взаимодействии с концевыми функциональными группами гетероцепных полимеров, поэтому вторичная переработка полиэтилентерефталата с добавлением таких модификаторов позволяет добиться удлинения цепи, увеличения молекулярной массы, снизить чувствительность к действию высоких температур и влаги при переработки.

Химическую модификацию исходных и вторичных полимеров можно проводить в статических условиях, что позволяет определиться в выборе вида и концентрации модификаторов. В динамических условиях можно оценить эффективность выбранных модификаторов по расчётным значениям средневязкостной молекулярной массы.

Предварительные исследования показали, что оптимальным количеством вводимых модификаторов (удлинителей цепи) для вторичного ПЭТ является 1,5-2% масс.

При изучении реологических свойств модифицированных таким образом полимеров обнаружено увеличение молекулярной массы вторичного ПЭТ на 30 - 40% (рис. 1), которое объясняется химическим взаимодействием активных гетероциклов модификаторов (удлинителей цепи) с концевыми группами модифицируемых термопластов.

Увеличение молекулярной массы вторичного ПЭТ обусловлено тем, что в условиях переработки (экструзия, литьё под давлением, прессование) при термическом воздействии происходит раскрытие активного цикла модификатора с последующим взаимодействием его по концевым гидроксильным группам полимеров.

Введение в состав вторичного полиэтилентерефталата специально подобранных удлинителей цепи приводит к повышению температуры начала термоокислительной деструкции. Поглощение кислорода начинается после прохождения периода индукции и с низкой скоростью с начала момента окисления. Увеличение продолжительности течения реакции окисления и низкая её скорость на глубоких стадиях (после завершения периода индукции) при введении в состав полимеров реакционноспособных химических модификаторов приводит к повышению устойчивости этих полимеров к термоокислительной деструкции. Пики на кривых ТГ и ДТА, соответствующие термоокислительной деструкции, смещаются в высокотемпературную область и практически полностью накладываются на максимум пиролизического разложения полимеров. Уменьшение скорости развившегося автоокисления модифицированных вторичных полиэтилентерефталатов обусловлено их участием в реакциях без образования активных радикалов и подавлением вырожденного разветвления цепей окисления.

*2) Метод твердофазной поликонденсации гранулированных вторичных полиэтилентерефталатов.*



В зависимости от природы используемых реагентов и температуры процесса можно выделить следующие разновидности твердофазной поликонденсации:

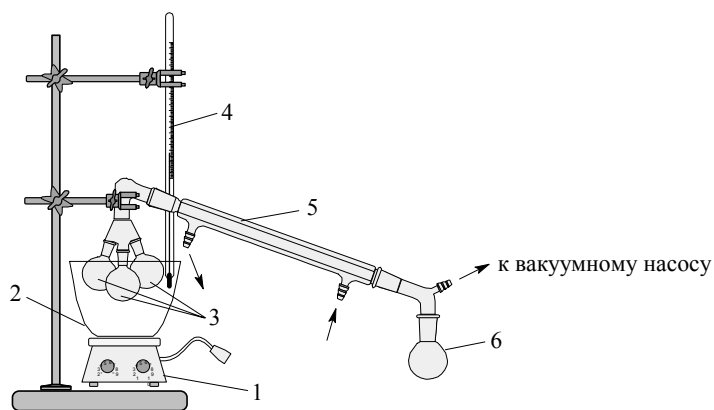
- собственно поликонденсация в твердой фазе, т.е. поликонденсация при температурах ниже температуры плавления, как мономеров, так и полимера. В этом случае на протяжении всего процесса подвижность всех реагирующих молекул ограничена;

- поликонденсация олигомеров в твердой фазе, т. е. поликонденсация при температурах выше температуры плавления мономеров, но ниже температуры размягчения полимера. В этом случае начальная стадия поликонденсации протекает в расплаве, твердофазной является вторая стадия - поликонденсация олигомеров;

- трехмерная поликонденсация, особенно ее глубокие стадии, также может рассматриваться как разновидность твердофазной поликонденсации, так как реакционноспособные концы макромолекул оказываются малоподвижными, вследствие закрепления их в жесткой трехмерной полимерной сетке;

- реакционное формование - поликонденсация протекающая в твердых смесях (или почти твердых), которым придана форма будущего изделия.

На рисунке 3 изображена установка для осуществления твердофазной поликонденсации.



*Рис. 3. Установка для проведения ТФПК.*

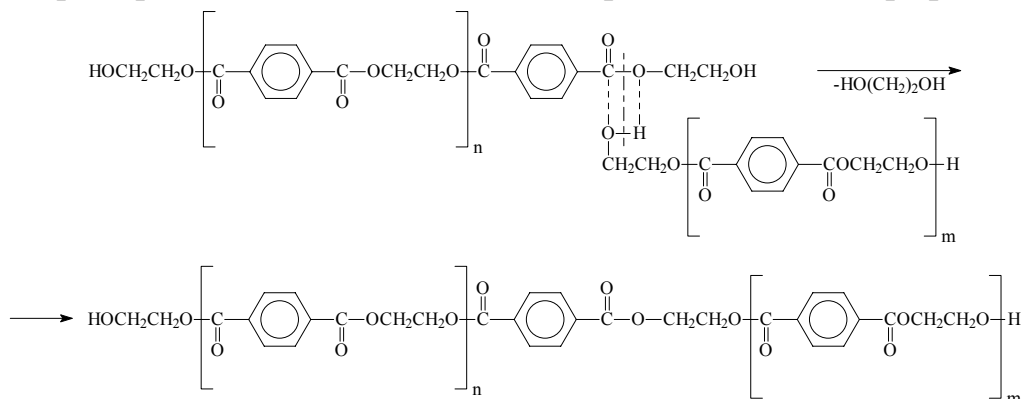
*1 – нагревательный элемент; 2 – масляная баня; 3 – реакционные колбы;*

*4 – контактный термометр; 5 – холодильник; 6 – приемник.*

При поликонденсации олигомеров процесс протекает в две стадии. В начале поликонденсации в расплаве или растворе получают сравнительно низкомолекулярные полимеры-олигомеры (преполимеры, форполимеры). Дальнейшую их поликонденсацию проводят уже в самой твердой фазе. Таким образом, поликонденсация в этом случае протекает при температуре выше температуры плавления мономера, но ниже температуры плавления полимера. Структурные факторы при твердофазной поликонденсации,

связанные со строением мономеров, не играют роли; большое значение приобретает строение молекулы олигомера, особенности конформационного строения полимера цепи и его надмолекулярная структура.

На примере поликонденсации олигомеров полиэтилентерефталата



было установлено, что значительное влияние на процесс роста цепи из олигомеров оказывает дисперсность их частиц. С уменьшением размера твердых частиц олигомеров существенно возрастает молекулярная масса образующегося полиэтилентерефталата.

При поликонденсации в твердой фазе возникает своеобразное противоречие: для ускорения процесса следует повышать температуру синтеза, но повышение температуры может привести к слипанию частиц порошка. Поэтому нами были предусмотрены меры по предотвращению слипаемости частиц порошка предполимера: обработка частиц полиэтилентерефталата органическими жидкостями вызывающими их кристаллизацию после которой частицы не слипаются; интенсивная вибрация для предотвращения слипаемости на ранних стадиях; использование добавок инертных мелкодисперсных порошков (от 0,1% до 10% от массы полимера).

Перед ТФПК полученный форполимер измельчают и подвергают предварительной термической обработке при определенной температуре, которая ниже температуры плавления форполимера, в токе инертного газа или в вакууме. Термическую обработку проводят для повышения кристалличности и сокращения времени проведения твердофазной поликонденсации.

Для более эффективного проведения реакции получения форполимера необходимо использовать катализаторы. В качестве катализатора могут быть использованы различные соединения титана, оксид цинка, ацетат цинка и ацетат марганца. Наиболее эффективно используются органические соединения титана: тетрабутилтитан, тетрапропилтитан, тетраэтилтитан, тетраметилтитан и четыреххлористый титан. Катализатор вводится в соотношении 10-100ч на 1000ч полимера, предпочтительней 30-300 ч. Дополнительно катализатор может быть введен в течение реакции. Когда добавлен катализатор, предварительная термообработка не обязательна.

3) *Рециклинг ПЭТ за счет создания на его основе нанокмпозитных материалов с использованием органомодифицированных алюмосиликатов.*

Процесс формирования слоистосиликатного нанокомпозита протекает через ряд промежуточных стадий (рис.4). На первой стадии происходит образование тактоида – полимер окружает агломераты органомодифицированного слоистого силиката. На второй стадии происходит проникновение полимера в межслоевое пространство слоистого силиката, в результате чего происходит раздвижение слоев силиката. Дальнейшее увеличение расстояния между слоями (третья стадия) приводит к частичному расслоению и дезориентации силикатных слоев. На последней стадии происходит эксфолиация.

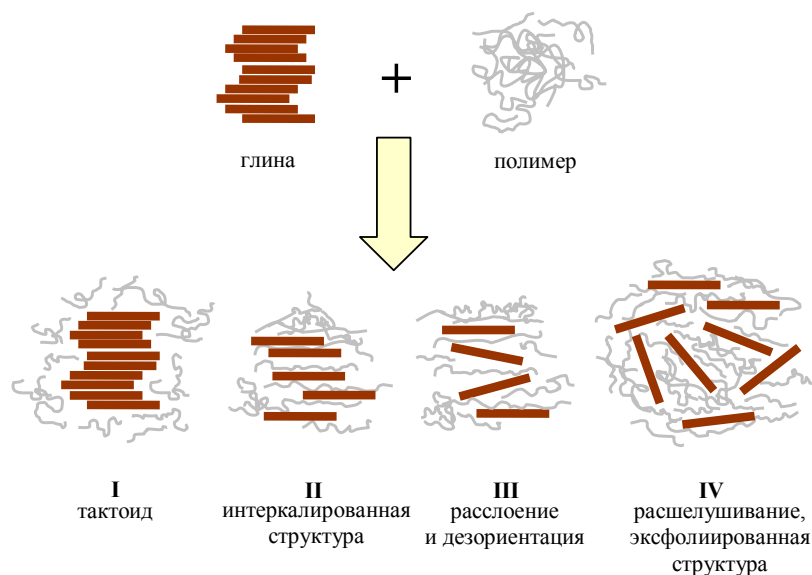


Рис. 4. Схема образования полимерного нанокомпозита

В случае образования композита, структура которого преимущественно состоит из тактоидов, основные его характеристики лежат в том же диапазоне, что и у обычных микрокомпозитов. Кроме этого случая можно выделить два других типа структуры композитов. Первый (Рис. 4, II) обладает структурой, в которой полимерные цепи интеркалированы в межслоевое пространство слоистого силиката, при этом формируется упорядоченная многослойная система, собранная из чередующихся полимерных и силикатных слоев. В композитах со структурой второго типа (Рис. 4, IV), слои силиката, полностью и однородно диспергированы в полимерной матрице, формируется эксфолированная структура.

Структуру слоистосиликатных нанокомпозитов определяют методом рентгеноструктурного анализа. Сдвиг характерного для слоистого силиката пика в область малых углов, подтверждает получение интеркалированного нанокомпозита, в котором хорошо сохраняется повторяющаяся многослойная структура. Отсутствие характерного пика слоистого силиката – из-за большего расстояния между слоями или из-за того, что силикатные пластинки разупорядочены, означает формирование эксфолированного нанокомпозита.

Для подтверждения данных получаемых рентгеноструктурным анализом используют растровую и трансмиссионную микроскопии. На самом деле, в слоистосиликатных нанокompозитах одновременно могут сосуществовать все указанные структуры, это зависит от степени распределения слоистого силиката в полимерной матрице.

Предварительные исследования показали, что нанокompозитные материалы на основе вторичного ПЭТ и слоистых алюмосиликатов обладают комплексом эксплуатационных характеристик, способных обеспечить их применение в различных областях промышленности. Особенностью таких нанокompозитов является повышенная огнестойкость и высочайшие по сравнению с чистым ПЭТ барьерные свойства по отношению к кислороду и углекислому газу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Митрофанов Р.Ю., Чистякова Ю.С., Севедин В.П. / Переработка отходов полиэтилентерефталата, ТБО №6, 2006.
2. Джайлз Д., Брукс Д., Сабсай О.Ю. Производство упаковки из ПЭТ. - М. – Профессия, 2006г, 368 с.
3. British Patent 578,079 (1941);
4. Brunnschweiler, D., in Polyester: 50 Years of Achievement, Brunnschweiler, D. and Hearle, J. W. S. (Eds), The Textile Institute, Manchester, UK, 1993, pp. 34–37
5. Whinfield, J. R., Nature, 158, 930 (1946); Whinfield, J. R., Text. Res. J., 23, 290 (1953)
6. Стрельцов Е. Война миров в упаковке / Полимеры-деньги, №1, 2003г. <http://polymers-money.com/journal/posting>
7. Чубыкин А. Российский рынок ПЭТ-пленок / Флексо Плюс №5, 2004г
8. <http://e-plastic.ru/main/articles/r11/pr02>
9. <http://www.ekoresurs.ru>
10. Популярная механика, ноябрь 2005г
11. Plastics.ru, 08/08/2006
12. Масленников А. Вторая жизнь/Деловой журнал упаковочной индустрии, PakkoGraff, №8, 2004г, <http://www.pakkograff.ru/>
13. <http://www.petupack.ru>
14. Все о полиэтилентерефталате. [www.retal.ru](http://www.retal.ru)
15. Plastics.ru, 20/07/2005
16. Деловой экологический журнал, № 2 2003 <http://www.ecomagazine.ru/index.php?magaz&id=20>
17. О.В.Сурус Прессование ПЭТФ-тары. ТБО. №2, 2007, с 36-38.
18. Деловой журнал упаковочной индустрии, <http://www.pakkograff.ru/>
19. [http://www.rusnauka.com/PRNIT\\_2006/Chimia/17152.doc.htm](http://www.rusnauka.com/PRNIT_2006/Chimia/17152.doc.htm)
20. <http://galpet.com.ua>
21. Заявка ЕВП № 678552, МКИ С 08 К 5/42, 1994

22. Пат. США № 5688808, МПК С 08 G 63/02, 1997
23. Лучинский Г.П. Химия титана. – М.: Химия, 1971, 471 с
24. Технология катализаторов. Л.: Химия, 1989г., под ред. И.П. Мухленова
25. Пат. США № 4251652, 1981. РЖ «Химия», 1981, 19С730
26. Stan V. e.a. IUPAC MACRO 33 Bucharest, 5-9 Sept., 1983, Abst1, s.a., p.512-515
27. Хрусталева Е.А., Кочнева М.А., Фридман Л.И. и др. – Пластические массы, 1984, № 10, с. 6 – 8
28. А.с. СССР № 681859, Серенков В.И., Файдель Г.И., опубл. ВБИ, 1982, № 24.
29. Пат. США № 4433135, 1984.
30. Айзенштейн Э.М. Мировой рынок полиэфирных волокон и нитей <http://www.textileclub.ru/analitics.html>
31. Все о полиэтилентерефталате. [www.retal.ru](http://www.retal.ru)
32. Симагина В.И., Комова О.В./ Химия и рынок – № 2-3 (21-22), 2002.
33. [http://www.dontrade.donbass.com/razr\\_pet.shtml](http://www.dontrade.donbass.com/razr_pet.shtml)
34. Производство упаковки из ПЭТ. Д.Брукс, Дж.Джайлз (ред); пер.с англ. Под ред. О.Ю.Сабса – СПб.: Профессия, 2006. – 368 с.
35. Рынок вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТФ) <http://www.recyclers.ru>
36. <http://www.nestor.minsk.by/sn/2006/21/sn62114.html>
37. <http://www.tarleplast.uz>
38. А.И.А. Аид, А.Ю. Беданок, О.Б. Леднев. Способы рециклинга полиэтилентерефталата // Малый полимерный конгресс, Москва, 2005, с. 57
39. А.К. Mikitaev, А.У. Bedanokov, О.В. Lednev, М.А. Mikitaev Polymer/silicate nanocomposites based on organomodified clays/ Polymers, Polymer Blends, Polymer Composites and Filled Polymers. Synthesis, Properties, Application. Nova Science Publishers. New York 2006
40. В.А. Кондратьев, Н.А. Твердовская / Особенности очистки отходов из пластика, №9 2006, с.24-25
41. Сборник статей "Вторичное использование полимерных материалов", под редакцией Любешкиной Е.Г.- Химия. - 1985.-192с.
42. [http://www.upakovano.ru/pictures/article\\_imgs/old\\_2004/pet/diagr\\_1.jpg](http://www.upakovano.ru/pictures/article_imgs/old_2004/pet/diagr_1.jpg)
43. Снежков В. Новые технологии и оборудование для переработки вторичных полимеров, [www.larta.com](http://www.larta.com)
44. Масленников А. Вторичное использование полиэтилентерефталата ТБО, №5, 2005
45. К. Мюллер, Ф. Велле. Бутылка из бутылки/Твердые бытовые отходы, 2006, №8
46. <http://www.mirexpo.ru/technologies/pet/pet.shtml>

## **ABSTRACT**

Different methods of secondary polyethylene terephthalate (PET) recycling and use were reviewed. Such ways of PET recycling as chain elongation agent application, solid-state polycondensation, and synthesis of nanocomposites based on secondary PET.

## **АННОТАЦИЯ**

Проведен анализ основных направлений переработки и использования вторичного полиэтилентерефталата. Рассмотрены такие подходы к вопросу рециклинга вторичного ПЭТ, как: применение удлинителей цепи, метод твердофазной поликонденсации, а также рециклинг ПЭТ за счет создания на его основе нанокompозитных материалов с использованием органофицированных алюмосиликатов.

© А.Ю. Беданок,в,  
Б.З. Бештоев,  
М.А. Микитаев,  
А.К. Микитаев,  
В.В. Сазонов, 2009

## МОДЕЛЬ ОБТЕКАНИЯ ГОР ПРОИЗВОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ И КЛИМАТ

***Беданок М.К., Коблева Р.Б.***

*(Россия, г. Майкоп)*

Взаимодействие движущейся атмосферы с неровностями земли есть явление, относящееся к среднemasштабным или локальным атмосферным процессам. Этот процесс имеет большое преимущество перед рядом других среднemasштабных процессов, т.к. при сохранении характеристик атмосферного потока перед горами источник возмущений- неровность земли- остается неизменным во времени.

Атмосфера типично стратифицирована устойчиво по отношению к быстрым вертикальным смещениям ее частиц, а неровности земли действуют на поток как вынуждающая сила в упругой среде, поэтому исследуемые возмущения носят волновой характер. Возникающие волны представляют пример внутренних гравитационных волн (вгв). Т.к. возмущения порождаются горами, то их можно классифицировать как вгв орографической природы. Причем они примечательны своей пространственной асимметрией, поскольку наблюдаются только над горами и ниже по потоку от них, из-за чего обычно называются подветренными волнами. Исследования данного природного феномена связаны с работами очень многих ученых таких, как Кочин, Дородницын, Кибель, Кене, Кюттнер, Лира, Скорер, Лонг, Лилли, Клемп, Смит, Хргиан и др.

Данную проблему начали с рассмотрения двумерных задач, т.е. с рассмотрения обтекания гор, имеющих цилиндрическую форму, с образующими перпендикулярными направлению натекающего потока. Решение такой задачи ищется в вертикальной плоскости  $(x-z)$ , ориентированной по направлению натекающего потока, а от координаты "y" ничего не зависит. Затем стали появляться и отдельные пространственные модели [3]. В последние годы вышли работы, посвященные моделированию реальных трехмерных гор [1,16]. Однако подавляющее число работ проводится в рамках двумерного приближения, т.к. только в рамках такого упрощения можно вскрыть важнейшие закономерности данного природного явления. К таким работам можно отнести работы профессора кафедры физики атмосферы МГУ Кожевникова В.Н. Сначала им были созданы модель по обтеканию горы- полукруга и модель по обтеканию однородным натекающим потоком горы произвольной формы. Третья модель, учитывающая послойные разрывы устойчивости, сформулирована также им, но реализована его аспирантом, Беданок М.К. Кожевников В.Н. создал четвертую модель, направленную на учет плавучести плавных изменений скорости и устойчивости натекающего потока. Упомянутые модели нашли применение при решении практических задач таких, как определение волнового сопротивления и энергетики, безопасности полетов над горами.

В данной работе рассмотрим нелинейную аналитическую трехслойную модель для изучения обтекания гор произвольной формы. Для такой модели

используют следующую систему уравнений движения, адиабатичности и неразрывности:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} V = \frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p - \vec{g}, \\ \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \left( \vec{\nabla} \vec{V} \right) = \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \left( \rho \vec{V} \right) \right] = 0, \\ \frac{d}{dt} \Theta = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \left( \vec{V} \vec{\nabla} \right), \quad \vec{V} = (u, v, w), \quad \vec{\nabla} = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right), \quad (1.1)$$

$\vec{V}$  - вектор скорости,  $\rho$  и  $p$  - плотность и давление,  $\vec{g}$  - вектор силы тяжести,  $\Theta$  - потенциальная температура, выражаемая через температуру  $T$  и давление по формуле:

$$\Theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (2)$$

В формуле (2)  $k$  - отношение удельных теплоемкостей,  $p_0$  - эталонное давление (давление в основном состоянии на земле). В силу среднемасштабности движений, силы Кориолиса не учитываются, а силы вязкости опущены, т.к. они существенно меньше сил Архимеда в свободной атмосфере, на которую обращается основное внимание. Система уравнений (1) замыкается за счет использования предположения об адиабатичности. Последнее сужает применимость такой системы к реальной атмосфере (особенно в случаях высокой влажности), зато в таком случае задача существенно упрощается [7]. В целом система (1) неплохо описывает быстрые возмущения атмосферы в поле силы тяжести при невысокой влажности). Возмущения при этом определяются как отклонение атмосферы от ее основного состояния. *Основным состоянием атмосферы* считают состояние атмосферы на бесконечном расстоянии перед обтекаемыми горами, в той части пространства, где всюду поверхность земли имеет вид бесконечной плоскости. Это состояние называют *натекающим потоком*.

В данной работе в рамках стационарного приближения основной акцент делается на учет действия неровностей на движущуюся упругую атмосферу. Упругость определяется вертикальной стратификацией среды. Возникающие возмущения изучаются на основе гидродинамики стратифицированной жидкости, а неровности играют роль вынуждающих сил.

В системе уравнений (1) в полной производной по времени опускается частная производная, т.е.

$$\frac{d}{dt} = \left( \vec{V} \vec{\nabla} \right) \quad (3)$$



Натекающий поток считают не зависящим от времени и полностью определяемым вертикальными профилями скорости и одной из термодинамических величин. В предположении, что неровности земли локализованы в ограниченной окрестности начала координат, натекающий поток можно определить соотношениями:

$$\vec{V} \rightarrow U(z), \quad T \rightarrow \bar{T}(z) \quad \text{при } x \rightarrow -\infty, \quad (4)$$

где  $U$  - скорость натекающего потока, температура и остальные его термодинамические характеристики выделяются чертой сверху. Наличие гидростатически устойчивого распределения температуры в натекающем потоке определяет упругие свойства атмосферы по отношению к быстрым вертикальным смещениям ее частиц. Мерой этой упругости в атмосфере служит частота Брента- Вяйсяля  $N$ , которая определяется формулой:

$$N^2 = \frac{g}{\bar{\Theta}} \frac{d\bar{\Theta}}{dz} = g \frac{\gamma_a - \gamma}{T_1}, \quad \gamma = -\frac{d\bar{T}}{dz}, \quad (5)$$

где  $\gamma_a$  - сухоадиабатический градиент температуры,  $T_1$  - характерная (средняя) температура рассматриваемого слоя атмосферы.

Скорость и частота Брента- Вяйсяля  $N$  определяют некоторый масштаб  $b$ , который пропорционален собственному волновому масштабу  $\lambda_c$ , впервые введенному Лира [18]:

$$b = \frac{U}{N}, \quad \lambda_c = 2\pi b = 2\pi \frac{U}{N}. \quad (6)$$

Взаимодействие атмосферы и неровностей имеет волновой характер, причем в возникающих возмущениях частота Брента- Вяйсяля  $N$  и собственный масштаб  $\lambda_c$  всегда должны так или иначе проявляться.

Для построения конкретной гидродинамической модели Исходную нелинейную систему уравнений (1) можно свести по Буссинеску [5,19] к линейному уравнению без предположения о малости возмущений поля скорости за счет перехода к некоторому частному случаю свойств натекающего потока [8,11]. В частности, уравнение неразрывности после таких преобразований можно привести [2,5,21] к виду:

$$\bar{\nabla} \bar{V} = \sigma w, \quad \sigma = -\frac{1}{\bar{\rho}} \frac{d\bar{\rho}}{dz} = \frac{1}{\bar{T}} \left( \frac{k}{k-1} \gamma_a - \gamma \right). \quad (7)$$

В силу того, что величина  $\sigma$  в атмосфере достаточно мала, в качестве уравнения неразрывности можно использовать уравнение несжимаемости. Тогда с учетом всех указанных преобразований получается следующая система уравнений движения, адиабатичности и несжимаемости [5,6,8,12] для двумерного случая:

$$\begin{cases} (\bar{V} \bar{\nabla}) \bar{V} = -RT_1 \bar{\nabla} \frac{\rho'}{\bar{\rho}} + \frac{T'}{T_1} g, \\ (\bar{V} \bar{\nabla}) T' = -(\gamma_a - \gamma) w, \\ (\bar{V} \bar{\nabla}) = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где штрихами отмечены возмущения соответствующих величин, а также используются обозначения системы (1) для двумерного случая.

Т.к. модель строится при условии несжимаемости, это позволяет ввести функцию тока с помощью формул

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad w = \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (9)$$

При условии, что процесс стационарен, изолинии этой величины совпадают с траекториями движения.

На первый взгляд может показаться, что использование в стационарной модели совместно уравнений несжимаемости и адиабатичности некорректно: предположение о несжимаемости требует сохранения плотности вдоль траекторий движения, а тогда в силу адиабатичности и давление также должно сохраняться, а по уравнению состояния, значит, и температура. На самом деле обстоит по другому. В силу малости в (7) величины  $\sigma$  в системе уравнений (8) динамические, кинематические и термодинамические факторы учитываются с одинаковой точностью. При этом соотношение адиабатичности, как легко видеть, управляет изменениями температуры в точном соответствии с законами физики: изменения  $T'$  вдоль траекторий пропорциональны  $(\gamma - \gamma_a)w$ . Ясно, что градиент давления и сила тяжести в системе уравнений (8) также учитываются с приемлемой точностью [7].

Введя функцию тока перекрестным дифференцированием первых уравнений из системы (8) можно исключить давление, потом, используя якобианы представить ее в виде:

$$\frac{\partial(\psi, \nabla^2 \psi)}{\partial(x, z)} = \frac{g}{T_1} \frac{\partial T'}{\partial x}, \quad \frac{\partial(\psi, T')}{\partial(x, z)} = (\gamma_a - \gamma) \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad (10)$$

где

$$\frac{\partial(A, B)}{\partial(x, z)} = \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial z} - \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial B}{\partial x}, \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (11)$$

Согласно сказанному выше в натекающем потоке все возмущения отсутствуют, значит,

$$T' \rightarrow 0, \quad \frac{\partial \psi}{\partial x} \rightarrow 0, \quad \psi \rightarrow \psi_0(z), \quad \nabla^2 \rightarrow \frac{d^2}{dz^2} \quad \text{при } x \rightarrow -\infty, \quad (12)$$

где  $\psi_0$  - функция тока в натекающем потоке. Таким образом, решение задачи сведено к решению двух уравнений (10) для двух искомых функций. Условие (12)- это одно из необходимых граничных условий. Уравнения (10) нелинейны, линеаризация осуществляется за счет перехода к рассмотрению некоторых частных ситуаций. Однако перед этим необходимо использовать тот факт, что уравнения (10) имеют первые интегралы, которые имеют вид:

$$T' = f(\psi) - \int_0^z (\gamma_a - \gamma) dz, \quad \nabla^2 \psi = f_1(\psi) + \frac{g}{T_1} \frac{\partial f}{\partial \psi}. \quad (13)$$

Вид произвольных функций  $f$  и  $f_1$  проще всего определять в натекающем потоке, свойства которого известны. Было установлено, что для

определенных профилей скорости и устойчивости в натекающем потоке вид этих функций таков, что уравнение задачи становится линейным [7].

Согласно анализу [8,11,12], наиболее интересным для атмосферы вариантом является случай, когда

$$U = const, \quad \gamma = const. \quad (14)$$

Тогда решение проблемы сводится к решению уравнения Гельмгольца для возмущений функции тока:

$$\nabla^2 \psi' + K^2 \psi' = 0, \quad \psi' = \psi - \psi_0, \quad \psi_0 = -Uz, \quad (15)$$

$$K = \frac{N}{U} = b^{-1} = 2\pi\lambda_c^{-1}. \quad (16)$$

При этом возмущения температуры определяются через возмущения функции тока по формуле:

$$T' = -(\gamma_a - \gamma) \frac{\psi'}{U}, \quad (17)$$

Тем самым идет соответствие с требованиями адиабатичности изменений при вертикальных смещениях.

В данной модели изменения свойств атмосферы с высотой учитывались с условием, что вариации градиента температуры воспроизводятся переходом к рассмотрению трехслойного потока жидкости. При этом предполагается, что во всех слоях скорость натекающего потока  $U$  одинакова. Такое предположение необходимо, чтобы исключить ненужные разрывы скорости на поверхностях раздела слоев, а следовательно, исключить искусственные источники неустойчивости в основном состоянии атмосферы. Тем самым слои будут отличаться по величине коэффициента уравнения  $K$  (или по масштабам  $\lambda_c$ ). В дальнейшем эти различия будем показывать с помощью нижнего индекса  $j, j=1,2,3$ . Таким образом, решение задачи сведется к отысканию поля возмущений функции тока  $\psi'_j$ , причем в каждом из слоев собственный характерный масштаб Лира  $\lambda_c$  будем обозначать  $\lambda_j, j=1,2,3$ .

Далее речь будет идти только о возмущениях функции тока, поэтому верхний штрих для простоты опускается.

Следует учесть, что на поверхности земли, заданной в виде

$$z = z_* + h(x), \quad (18)$$

граничное условие скольжения будет использоваться в виде:

$$\psi = -Uz_*, \quad \psi'(x, z) = Uh(x) \quad \text{при} \quad z = z_* + h(x). \quad (19)$$

Предполагается, что невозмущенный уровень земли в натекающем потоке равен  $z_*$ , а орографическое смещение относительно этого уровня есть  $h(x)$ , причем в окрестности точки  $x = 0$  последнее отлично от нуля.

По аналогии с (18) поверхности раздела можно задавать в виде:

$$z = z_* + H_j + \zeta_j, \quad |\zeta_j| \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad x \rightarrow -\infty, \quad j=1,2, \quad (20)$$

где  $H_j$  - высота в натекающем потоке,  $\zeta_j$  - смещение в зоне возмущений поверхностей раздела.

Естественно решение данной задачи должно удовлетворять условиям скольжения на земле и поверхностях раздела, а также условиям непрерывности давления при переходе через любую поверхность раздела. Эти условия при сделанных обозначениях, согласно исследованиям, проведенным в работах [9,10,11], можно записать в виде:

$$\psi_1(x, z_* + h(x)) = h(x), \quad (21)$$

$$\psi_j = \psi_{j+1}, \quad \frac{\partial \psi_j}{\partial z} = \frac{\partial \psi_{j+1}}{\partial z} \quad \text{при } z = z_* + H_j + \zeta_j, \quad j=1,2. \quad (22)$$

В качестве первого приближения строится решение в предположении, что величиной  $\zeta_j$  можно пренебречь по сравнению с  $(z_* + H_j)$ , т.е. положить

$$\zeta_j = 0. \quad (23)$$

По методу Фурье производится разделение переменных, тогда решение задачи ищется в виде суперпозиции следующих частных решений:

$$\begin{cases} \psi_{jk} = E(k) [C_j(k)e^{im_j z} + B_j(k)e^{-im_j z}] e^{ikx} + E(-k) [C_j(-k)e^{im_j z} + B_j(-k)e^{-im_j z}] e^{-ikx}, \\ m_j = (K_j^2 - k^2)^{1/2}, C_{\pm} = 1, j=1,2,3, \end{cases} \quad (24)$$

где  $E, C_j, B_j$  - коэффициенты, определяемые из граничных условий,  $k$  - действительное волновое число. Причем его использование в качестве второго нижнего индекса делается, только для того, чтобы подчеркнуть, что частное решение зависит от волнового числа. Возможность изменения знака перед нижним индексом  $j$  у выписанных коэффициентов используется тогда, когда необходимо подчеркнуть, что данный коэффициент стоит при экспоненте со степенью  $(\pm ikx)$ . Всего в решении задействовано шесть пар коэффициентов - по 2 пары на слой; выписанные граничные условия дают 5 пар соотношений для их определения. Для однозначного их определения требуется использовать условие о поведении возмущений при неограниченном увеличении высоты в верхнем слое. Это условие по-разному формируется для разных длин волн. Для волновых чисел, при которых  $m_3$  становится мнимой величиной, это условие состоит в естественном требовании ограниченности возмущений. Отсюда получаем следующее условие для коротких волн:

$$B_{\pm 3} = 0 \quad \text{при } k > K_3. \quad (25)$$

Таким образом, по физическому смыслу необходимо накладывать на решение условие «захвата» достаточно коротких волн в верхнем неограниченном слое [14]. Для остальных волновых чисел (более длинных волн) надо сформулировать другое условие. Согласно исследованиям [20] в верхнем слое в формулах (24) «незахваченные» волны с одинаковыми знаками у показателей степеней экспонент соответствуют части решения, отвечающего за поток волновой энергии вверх, остальные – части решения, отвечающие за поток вниз. Положим для простоты, что в верхнем слое нет источников волновой энергии, в том числе никаких нарушений плавных изменений свойств среды, которые могли бы вызвать переотражения

волновой энергии вниз. Тогда нужное граничное условие для длинных волн имеет вид:

$$B_3 = C_{-3} = 0 \quad \text{при } k < K_3. \quad (26)$$

Теперь достаточно условий для однозначного определения всех искомым коэффициентов решения.

При использовании (23) граничные условия (22), (25), (26) позволяют определить четыре пары искомым коэффициентов на основе сведения этих соотношений к двум системам алгебраических уравнений (по четыре в каждой):

$$\begin{cases} -\beta_{11}X_1 + \alpha_{21}X_2 + \beta_{21}X_3 + 0 = \alpha_{11}, \\ 0 + \alpha_{22}X_2 + \beta_{22}X_3 - X_4 = 0, \\ +m_1\beta_{11}X_1 + m_2\alpha_{21}X_2 - m_2\beta_{21}X_3 + 0 = m_1\alpha_{11}, \\ 0 - m_2\alpha_{22}X_2 + m_2\beta_{22}X_3 \pm m_3X_4 = 0, \end{cases} \quad (27)$$

где

$$\alpha_{vj} = \exp(im_v H_j) = \beta_{vj}^{-1}. \quad (27.1)$$

Первые два уравнений в системе уравнений (27) соответствуют требованию непрерывности функций тока на поверхности раздела, остальные- непрерывности их производных. Две системы (27) отличаются друг от друга только знаком перед последним слагаемым в четвертом уравнении. Из этого следует, что достаточно решить ее один раз, например, для верхнего знака, и получить четыре величины  $X_{+n}$ . Тогда для нижнего знака соответствующие  $X_{-n}$  можно получить простой заменой в полученных выражениях величины  $m_3$  на  $(-m_3)$ . Варианты связи между  $X_{\pm n}$  и коэффициентами можно выразить соотношением, в котором величина индекса  $n$  слева определяет номер выбираемого выражения в скобке справа и, кроме того, учитывается соответствие знаков:

$$X_{\pm n} = (B_{\pm 1}, C_{\pm 2}, B_{\pm 2}, (\alpha_{32})^{\pm 1}, C_{\pm 3}) \quad (28)$$

Детерминанты систем уравнений (27) можно представить в виде:

$$\begin{cases} D = \alpha_{32}\beta_{11} \{ + m_2 [\alpha_{21}\beta_{22}(m_2 \pm m_3) - \alpha_{22}\beta_{21}(m_2 \mp m_3)] + \\ + m_1 [\alpha_{21}\beta_{22}(m_2 \pm m_3) + \alpha_{22}\beta_{21}(m_2 \mp m_3)] \}. \end{cases} \quad (29)$$

Результаты исследования детерминанта показывают, что он для фиксированных значений исходных параметров  $(z_*, K_j, H_j)$  обращается в ноль только при  $k \rightarrow K_2$  (или  $m_2 \rightarrow 0$ ), причем эта особенность сохраняется и при вариации значений исходных параметров. Эту особенность не изменяет даже предельный переход  $H_2 \rightarrow H_1$ . Появление этого свойства, вероятно, определяется наличием приподнятого над землей слоя и использованием приближения (23). В численной реализации модели эту особую точку выбрасываем, контролируя при этом получаемую из-за этого погрешность.

Для получения конкретных выражений коэффициентов решения  $C_{\pm j}$  и  $B_{\pm j}$  в случае длинных, «незахваченных» волн ( $k < K_3$ ) используются формулы (27) и (27.1), а для коротких, «захваченных» волн – только (27) (см. подробности в работе [9]). Используя найденные коэффициенты, общее решение задачи ищется как суперпозиция частных решений в виде:

$$\psi_j(x, y) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} E(k) [C_j(k)e^{im_j z} + B_j(k)e^{-im_j z}] e^{ikx} dk. \quad (30)$$

Далее, пользуясь известными преобразованиями

$$E(k) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(k) e^{-ikx} dx', \quad \varphi = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} E(k) e^{ikx} dk,$$

общее решение задачи можем переписать в другом виде, заменив прежнюю неизвестную функцию  $E(k)$  на новую неизвестную функцию  $f(x)$ :

$$\psi_j(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x') A_j(\tilde{x}, z) dx', \quad f = \frac{\varphi}{2\pi}, \quad \tilde{x} = x - x', \quad (31)$$

$$A_j(\tilde{x}, z) = \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{ik\tilde{x}} [C_j e^{im_j z} + B_j e^{-im_j z}] dk = \int_0^{+\infty} P_j(\tilde{x}, z, k) dk, \quad (32.1)$$

$$P_j = \operatorname{Re} \left\{ e^{ik\tilde{x}} [C_j e^{im_j z} + B_j e^{-im_j z}] + e^{-ik\tilde{x}} [C_{-j} e^{im_j z} + B_{-j} e^{-im_j z}] \right\} \quad (32.2)$$

Для определенности рассматривается случай, когда средний слой является наиболее гидростатически устойчивым, т.е. когда

$$K_3 < K_1 < K_2, \quad (33)$$

что в принципе, является наиболее типичной для тропосферы ситуацией. В решении остается определить неизвестную функцию  $f$ , которую следует определять из условия скольжения на поверхности земли (21), и поэтому ее будем называть **орографической**. Условие скольжения приводит к интегральному уравнению Фредгольма I рода:

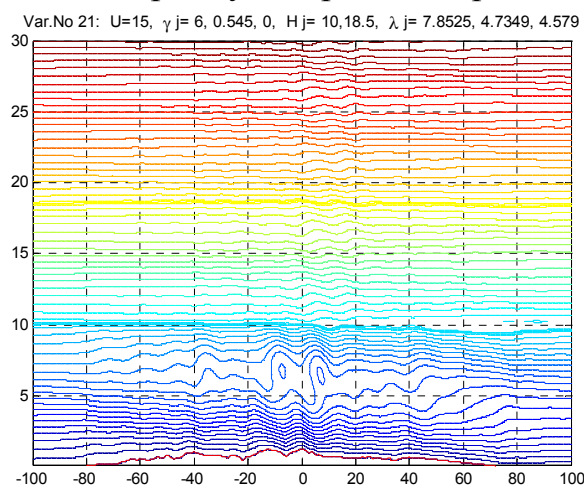
$$h(x) = \psi_1(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x') A_1(x - x', z) dx' \quad \text{при} \quad z = z_* + h(x). \quad (34)$$

Решение такой проблемы может быть некорректным. Возникающие трудности при расчетах в тропосфере можно преодолевать на основе редуccionной процедуры [15].

Представим вариант исследования рельефа произвольной формы в районе Кисловодска.

Рельеф построен по топографическим данным Гидрометеоцентра РФ с использованием процедуры усреднения, разработанной Кожевниковым В.Н. [7]. Максимальная высота равна 1263 м над уровнем моря. В трехслойной модели изменения гидростатической устойчивости можно представить следующим образом. Нижний слой имеет толщину 10 км и  $\gamma_1 = 6$  К/км, средний – толщину 18,5 км и  $\gamma_2 = 0,545$  К/км, верхний слой в расчетах ограничиваем высотой 30 км, а градиент температуры  $\gamma_3 = 0$  К/км. В модели, которая применяется, предполагается, что скорость потока не зависит от высоты, хотя полученные данные зондирования показывают довольно заметное возрастание скорости ветра и изменение его направления с

высотой. Но эту особенность атмосферы приходится оценивать лишь качественно. Для этого расчеты проводились для двух значений скорости потока  $U$ : 15 и 17 м/с. Каждый вариант представляется полем траекторий движения частиц во всем диапазоне пространственных координат. На рисунках высоты траекторий даны относительно фоновой высоты  $z_*$  [7]. В натекающем потоке эти высоты обозначаются как  $z_0$ . Модельные расчеты дают поле возмущений функции тока, его полезно представить в виде поля функций  $z_0(x, z)$ . После этого положение траекторий определяется по стандартной программе как поле заданных изолиний  $z_0$ . Каждый рисунок показывает движение в вертикальной плоскости  $(x, z)$ . В трехмерном пространстве все характеристики возмущений имеют вид цилиндров с образующими, параллельными оси  $y$ . Движение направлено слева направо. Поверхности раздела между слоями выделены двойными линиями, причем в натекающем потоке показаны штрихпунктирными горизонталями.

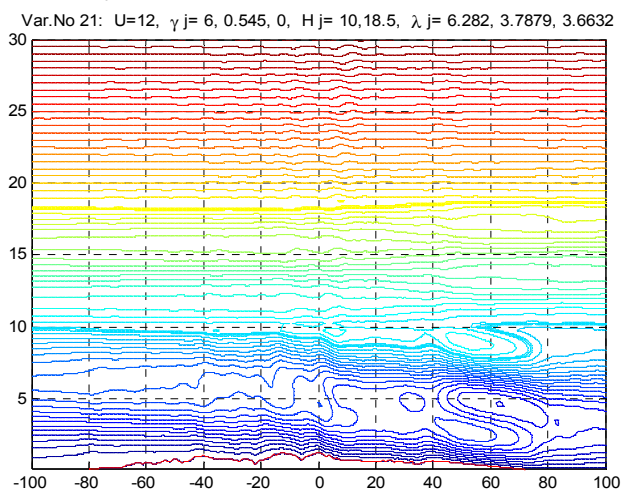


**Рис. 1.** Траектории движения частиц при обтекании рельефа воздушным потоком со скоростью 15 м/с.

Главная особенность поля возмущений состоит в том, что оно по своему характеру разделяется на две части. Над главной вершиной гор и подветренным склоном возмущения наиболее интенсивны и течение имеет роторный характер в смысле определения Лонга в [17]. В области ниже гребней появляются замкнутые роторы при учете слоя с повышенной устойчивостью. Располагаются они под высокими гребнями, в так называемой роторной зоне, причем оба ротора имеют вид замкнутых вихрей. По данным расчета, функция тока здесь достигает максимального значения. Оба ротора находятся на одинаковых высотах, в каждом из них циркулируют частицы с достаточно высоких уровней  $z_0$ , характеризующихся меньшей влажностью. В соответствии с этим в зоне роторов условия должны быть благоприятными для облакообразования и выпадения осадков.

Иной характер возмущения имеют ниже по потоку роторной зоны. Здесь линии тока более скромные вертикальные смещения, что говорит о

наличии периодических волновых движений воздушных частиц. Эту область можно назвать подветренно- волновой зоной. Здесь создаются условия для размывания облачности и уменьшения осадков.



**Рис. 2.** Траектории движения частиц при обтекании рельефа воздушным потоком со скоростью 12 м/с.

При тех же характеристиках предыдущего расчета изменена скорость натекающего потока с 15 км/ч на 12 км/ч. Возмущения при этом более интенсивны, что привело к образованию большего числа роторов, а именно шести. Причем возмущения наблюдаются достаточно ниже по потоку роторной зоны. В пяти роторах циркулируют частицы воздуха с низких высот  $z_0$ , характеризующихся большей влажностью. В соответствии с этим в зоне этих роторов условия должны быть неблагоприятными для облакообразования, тогда как в зоне шестого ротора с частицами воздуха более высоких уровней – наоборот благоприятными.

С явлением обтекания непосредственно связаны такие давно известные природные явления как фён и бора. Они определяются как явления катастрофического усиления ветра на подветренной стороне гор. По приведенной трехслойной модели можно провести расчеты, которые позволят высказаться по вопросу влияния среднего устойчивого слоя на ветер у поверхности горы. Наиболее известной в нашей стране является Новороссийская бора.

Знания об орографических возмущениях можно использовать для определения степени безопасности полетов над горными районами. Снижение уровня безопасности в установившемся горизонтальном полете из-за возмущений атмосферы может быть связано с двумя факторами [13]. Первый – потеря устойчивости вследствие резкого изменения угла атаки крыла самолета. При наихудшем сценарии развития подобной ситуации возможно увеличение этого угла выше допустимого значения, в результате чего будет происходить срыв потока на крыле и самолет начнет «сваливаться», т.е. произвольно двигаться и поворачиваться относительно каких-то из его осей так, что остановить это невозможно без уменьшения



угла атаки. Термин «сваливаться» можно понимать и в буквальном смысле. Вторым фактором является болтанка, вызванная попаданием самолета в зону резких изменений скорости ветра, особенно ее вертикальной компоненты. В этом случае увеличиваются нагрузки на несущие конструкции самолета, а пассажиры попадают в дискомфортные условия [7].

Данная модель еще нашла применение в исследовании распределения озона, других примесей, а также других термодинамических характеристик атмосферы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бибилова Т.Н., Журба Е.В., Кисельникова В.З., Кожевников В.Н. Подветренные орографические возмущения в Крыму // Тр. ГМЦ, вып. 238, с. 93-111, 1981.
2. Гутман Л.Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов. - Л.: Гидрометеиздат, 1969.
3. Дородницын А.А. Некоторые задачи обтекания неровности поверхности земли воздушным потоком // Тр. ГГО, вып. 23, 1940.
4. Еланский Н.Ф., Кожевников В.Н., Кузнецов В.Н., Волков Б.И. Влияние орографических возмущений на перераспределение озона в атмосфере при обтекании Антарктического полуострова // Изв. РАН, ФАО, т.39, № 1, 2003.
5. Кибель И.А. Введение в гидродинамические методы краткосрочного прогноза погоды. Гостехиздат, Москва, 1957.
6. Кибель И.А. Применение метода длинных волн в сжимаемой жидкости. ПММ, 8, 1944.
7. Кожевников В.Н. Возмущения атмосферы при обтекании гор. М.: «Научный мир», 1999, илл.
8. Кожевников В.Н. К одной нелинейной задаче об орографическом возмущении стратифицированного воздушного потока // Изв. АН СССР, сер. Геофиз., № 7, 1963.
9. Кожевников В.Н., Беданов М.К. Нелинейная многослойная модель обтекания произвольного профиля // Изв. РАН, ФАО, т.29, № 6, 1993.
10. Кожевников В.Н. Об учете стратосферы на орографические возмущения в тропосфере // Изв. АН СССР, ФАО, №8, 1975.
11. Кожевников В.Н. Орографические возмущения в двумерной стационарной задаче // Изв. АН СССР, т.4, № 1, 1968.
12. Кожевников В.Н. Орографические возмущения воздушного потока. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. МГУ, физический факультет, 1965.
13. Николаев Л.Ф. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов. - М.: Транспорт, 1990.
14. Скорер Р. Аэрогидродинамика окружающей среды. М.: Мир, 1980.
15. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 288 с.

16. Dobrythman E.M., Granberg I.G. Numerical simulation of the three-dimensional orographic flow over the Karpathians. Research activities in atmospheric and oceanic modeling. Report WMO № 11, pp. 537-540, 1980.

17. Long R.R. Some aspects of the flow of stratified fluids. 3. Continuous density gradients // *Tellus*, v. 7, № 3, 1955.

18. Lyra G. Theorie der stationären Leewellenströmung in freier Atmosphäre // *Z. angew. Math. Und Mech.*, 23, H. 1, 1943.

19. Oberbeck A. Über die Wärmeleitung der Flüssigkeiten bei Berücksichtigung der Strömungen infolge von Temperaturdifferenzen. *Ann. Phys.Chem.*, Neue Folge, 8, № 6, 1879.

20. Rontu L. A finite-amplitude mountain wave model. Department of Meteorology University of Helsinki, Report № 26, 1986.

21. Queney P., Corby G., Gerbier N., Koschmieder H., Zieper J. The airflow over mountains. World Meteorol. organiz., Technical note, № 43, 1960 (Ed. M.A. Alaka).

### ABSTRACTS

Airflow phenomenon of arbitrary shape relief is examined. The nonlinear three-layered hydrodynamic analytical model of flow is used. On the basis of this model, an investigation of influence of orographical disturbance on the cloud formation and also on the other real natural processes is made.

### АННОТАЦИЯ

Рассматривается явление обтекания воздушным потоком рельефа произвольной формы. Используется нелинейная, трехслойная, гидродинамическая аналитическая модель обтекания. На основе этой модели проведено исследование влияния орографических возмущений на облакообразование, а также на другие реальные природные процессы.

© М.К. Беданок, Р.Б. Коблева, 2009

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВОДНОГО И СОЛЕВОГО РЕЖИМОВ ПОЧВ С ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

*Беданюкова С.Ю.*

*(Россия, г. Майкоп)*

В настоящее время достигнут определенный успех в разработке компьютерно реализуемых математических моделей процессов фильтрации в пористых средах с фрактальной организацией и памятью. В основе этих моделей лежат дифференциальные уравнения дробного порядка как по временной, так и по пространственной переменной, и их разностные аналоги.

Коллоидное капилярно-пористое тело поликапилярной структуры, в особенности та его часть, которая образует эффективное поровое пространство, является примером системы, близкой к фрактальной.

Значительный интерес представляет разработка физически обоснованных математических моделей, учитывающих влияние фрактальной структуры почвы на их водный и солевой режимы.

Влажность почвы является одним из наиболее быстро изменяющихся во времени  $t$  свойств почвы.

На важность математического моделирования процессов поступления влаги и растворимых солей в почву, их перераспределение, расходование и совместное движение обратили внимание многие исследователи: Аверьянов С.Ф. [1], Нахушев А.М. [5], Сербина Л.И. [9], Нерпин С.В. [6], Полубаринова-Кочина П.Я. [7], [8]. Основы рассмотрения водного режимов были заложены Г.Н. Высоцким.

Водно-солевой режим почв выступает важнейшей подсистемой системы автоматизированного проектирования мелиоративных и водохозяйственных систем [1], [2].

Известно, что почвенный раствор представляет собой структурированные фрактальные коллоидные образования, наличие которых существенно влияет на многие свойства почв, в том числе на их инфильтрационные и фильтрационные характеристики. Известно также влияние влажности, одной из важнейших характеристик почв, на фрактальные свойства почвенных коллоидов [10], [11].

В работе предложены математические модели водного режима в почвах, содержащих фрактальные коллоидные структуры, и алгоритмы их исследования. На основе модификации известной в физике почв схеме М. Аллера, приводящей к уравнению диффузии, которая дает истолкование наличия потоков против потенциала влажности, и посредством введения понятия фрактальной скорости изменения влажности получено основное уравнение движения влаги:

$$\partial_{0t}^{\alpha} w(x, \tau) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(w) \frac{\partial w(x, t)}{\partial x} + k_{\mu} \partial_{0t}^{\alpha} \frac{\partial w(x, \tau)}{\partial x} \right], \quad 0 < \alpha \leq 1,$$

где  $w(x, t)$  – влажность (в долях единицы) в точке  $x$  слоя  $0 \leq x \leq r$  в момент времени  $t$  от начального  $t = 0$  до расчетного  $t = T$ ,  $\partial_{0t}^\alpha$  – регуляризованный оператор Римана-Лиувилля порядка  $\alpha \in ]0, 1]$ ,  $D(w)$  – коэффициент диффузивности,  $k_\mu$  – обобщенный коэффициент Аллера; а сопутствующие ему локальные и нелокальные краевые условия заданы формулами:

$$\begin{aligned} \partial_{0t}^\alpha \int_0^r w(x, t) dx &= \delta^{(\alpha)}(t), \quad 0 < \alpha \leq 1; \\ w_x(r, t) &= \psi_r(t); \\ w_x(0, t) - w_x(r, t) &= f_1(t); \\ w_x(0, t) &= f_0(t). \end{aligned}$$

где  $w_x(x, t) = \frac{\partial w(x, t)}{\partial x}$ .

Здесь и далее регуляризованный оператор Римана-Лиувилля  $\partial_{0t}^\alpha$  или оператор дробного в смысле М. Капуто [13] дифференцирования порядка  $\alpha$  по временной переменной  $t$ .

Пусть  $L[0, T]$  – множество функций  $\varphi(t)$ , абсолютно суммируемых на временном сегменте  $[0, T]$ ;  $[\alpha]$  – целая часть действительного числа  $\alpha$ ;  $D_{0t}^\alpha$  – оператор дробного в смысле Римана-Лиувилля интегродифференцирования порядка  $|\alpha|$  с началом в начальный момент времени  $t = 0$ , а с концом в текущий момент  $t > 0$ , который действует на функцию  $\varphi(t) \in L[0, T]$  по формуле (см. [4, с.28])

$$D_{0t}^\alpha \varphi = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(-\alpha)} \int_0^t \frac{\varphi(\tau) d\tau}{(t-\tau)^{\alpha+1}}, & \alpha < 0, \\ \varphi(t), & \alpha = 0, \\ \frac{\partial^{[\alpha]+1}}{\partial t^{[\alpha]+1}} D_{0t}^{\alpha-[\alpha]-1} \varphi, & \alpha > 0, \end{cases}$$

где

$$\Gamma(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!} \frac{1}{z+k} + \int_1^{\infty} t^{z-1} \exp(-t) dt, \quad z \neq 0, -1, -2, \dots$$

– гамма-функция Эйлера. Тогда по определению

$$\partial_{0t}^\alpha \varphi = D_{0t}^{\alpha-n} \frac{\partial^n \varphi}{\partial t^n}, \quad n-1 < \alpha \leq n = 1, 2, \dots$$

Если  $n = 1$ ,  $0 < \alpha \leq 1$ , то (см. [12, с. 236])

$$\partial_{0t}^\alpha \varphi = D_{0t}^\alpha \varphi - \frac{\varphi(0)}{\Gamma(1-\alpha)} t^{-\alpha}.$$

Выражение  $\partial_{0t}^\alpha \varphi$  часто называют производной Капуто от функции  $\varphi(t)$  порядка  $\alpha$ .

Для прогнозирования динамики объемной влажности почвы  $\Theta = \Theta(x, t)$  (запас влаги в точке  $x$  в момент времени  $t$ ) предложим линейное уравнение смешанного типа

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial t^2} = c_0 \text{sign}(t_* - t) |t_* - t|^p \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2}, \quad 0 < t < T,$$

с нелокальным краевым условием

$$D_0 \frac{\partial}{\partial t} \int_0^r \Theta(x, t) dx = c_r |t - t_*|^p \text{sign}(t_* - t),$$

где  $c_0$ ,  $p$ ,  $D_0$  и  $c_r$  – параметры модели,  $t_*$  – время, когда объемная влажность достигает максимально допустимое значение.

Задача нахождения влагосодержания слоя  $\delta(t)$  по начальному условию  $\delta(0) = \delta_0$  эквивалентно сведена к линейному интегральному уравнению Вольтерра второго рода

$$\delta(t) - D_{0t}^{-\alpha} c(\tau) \delta(\tau) = \delta_0 + D_{0t}^{-\alpha} f(\tau)$$

с оператором Римана-Лиувилля  $D_{0t}^{-\alpha}$ , которое входным данным  $\delta_0$ ,  $c(t)$ ,  $f(t)$  сопоставляет единственное решение  $\delta(t)$ , определяемое методом итерации с любой наперед заданной точностью.

В случае, когда  $c(t) = c = \text{const}$ , влагосодержание почвенного слоя в любой момент времени вычисляется по следующей формуле

$$\delta(t) = \frac{d}{dt} \int_0^x F(\eta) E_\alpha [c(t - \eta)^\alpha] d\eta,$$

где

$$F(t) = \delta_0 + D_{0t}^{-\alpha} f = \delta_0 + \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t \frac{\varphi(\tau) d\tau}{(t - \tau)^{1-\alpha}},$$

$$E_\alpha [z] = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(1 + \alpha k)} \equiv E_{1/\alpha} [z; 1]$$

– функция Миттаг-Леффлера [3, с.117].

**Теорема 1.** Для почв с фрактальной организацией с коэффициентом диффузивности  $D(w) = \beta(1 + \gamma w)$ ,  $\beta = \text{const}$ ,  $\gamma = \text{const}$  и с нелокальным краевым условием  $w_x(0, t) - w_x(r, t) = \varepsilon$  в качестве математической модели влагосодержания почвенного слоя  $0 \leq x \leq r$  можно принять уравнение

$$\partial_{0t}^\alpha \delta(\tau) - \varepsilon \beta \gamma \delta(t) = \beta \varepsilon$$

с начальным условием  $\delta(0) = \delta_0$ , единственное решение которого задается формулой

$$\delta(t) = \delta_0 E_\alpha [\varepsilon \beta \gamma t^\alpha] + \beta \varepsilon t^\alpha E_{1/\alpha} [\varepsilon \beta \gamma t^\alpha; \alpha + 1].$$

В этой теореме функция

$$E_{1/\alpha}[z; \alpha + 1] = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha + 1 + \alpha k)}$$

– означает функцию типа Миттаг-Леффлера.

Из теоремы 1 следует, что суммарную инфильтрацию  $Q(t, \alpha)$  можно вычислить по обобщенной формуле

$$Q(t, \alpha) = \frac{\beta\varepsilon(\delta_0\gamma + 1)}{\Gamma(\alpha + 1)}t^\alpha + \frac{\beta^2\varepsilon^2\gamma}{\Gamma(2\alpha + 1)}t^{2\alpha},$$

которая существенным образом обобщает известное уравнение Филипа.

Рассмотрим уравнение Аллера

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial w}{\partial x} + A \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} \right),$$

и проведен анализ еч чувствительности по Адамару. Основным результатом этого параграфа является

**Теорема 2.** *Для почв с фрактальной организацией и с постоянным коэффициентом диффузивности и коэффициентом Аллера, с уравнением движения влаги*

$$\partial_{0t}^\alpha w(x, \tau) = D \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial x^2} + k_\mu \partial_{0t}^\alpha \frac{\partial^2 w(x, \tau)}{\partial x^2},$$

начальным условием  $w(x, 0) = \varphi(x)$ ,  $0 \leq x \leq r$ , и граничным условием второго рода  $w_x(0, t) = f_1(t)$ ,  $w_x(r, t) = 0$ ,  $0 < t < T$  в качестве математической модели влагосодержания почвенного слоя  $0 \leq x \leq r$  можно принять решение задачи Коши  $\delta(0) = \delta_0$  для уравнения

$$\partial_{0t}^\alpha \delta(\tau) = -D f_1(t) - k_\mu \partial_{0t}^\alpha f_1(\tau),$$

единственное и устойчивое решение которого задается формулой

$$\delta(t) = \delta_0 - DD_{0t}^{-\alpha} f_1(\tau) - k_\mu [f_1(t) - f_1(0)].$$

Если градиент влажности представим в виде

$$f_1(t) = \sum_{j=0}^n A_j t^{\varepsilon j}, \quad A_j = \text{const}, \quad \varepsilon = \text{const},$$

то  $\delta(t)$  определяется формулой

$$\delta(t) = \delta_0 - Dt^\alpha E_{1/\varepsilon}^n[\lambda t^\varepsilon; 1 + \alpha] - \lambda k_\mu t^\varepsilon E_{1/\varepsilon}^{n-1}[\lambda t^\varepsilon; 1 + \varepsilon],$$

если же  $f_1(t) = E_{1/\varepsilon}[\lambda t^\varepsilon; 1]$ , то

$$\delta(t) = \delta_0 - Dt^\alpha E_{1/\varepsilon}[\lambda t^\varepsilon; 1 + \alpha] - \lambda k_\mu t^\varepsilon E_{1/\varepsilon}[\lambda t^\varepsilon; 1 + \varepsilon],$$

$$\delta(t) = \delta_0 - (D + \lambda k_\mu)t^\alpha E_{1/\alpha}[\lambda t^\alpha; 1 + \alpha], \quad \varepsilon = \alpha.$$

Здесь

$$E_{1/\rho}^n[z; z_0] = \sum_{k=0}^n \frac{z^k}{\Gamma(z_0 + k\rho)}$$

– полином Миттаг-Леффлера.

Рассмотрим математическую модель движения влаги с заданной разностью значений градиента влажности на границах почвенного слоя  $0 \leq x \leq r$ .

**Теорема 3.** Единственное решение  $w(x, t)$  начально-краевой задачи:

$$w(0, t) = f_0(t),$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=0} = f_1(t), \quad \frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=r} = 0,$$

$$\int_0^r w(x, 0) dx = \delta_0,$$

для уравнения

$$\partial_{0t}^\alpha \delta(\tau) = rD \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \partial_{0t}^\alpha k_\mu f_1(\tau)$$

задается формулой

$$w(x, t) = f_0(t) + f_1(t)x + \frac{x^2}{2rD} \partial_{0t}^\alpha k_\mu f_1(\eta) + \\ + \frac{3x^2}{r^3} \frac{d}{dt} \int_0^t F_{01}^\alpha(\eta) E_\alpha[2D(t - \eta)^\alpha] d\eta - \frac{F_{01}(t)}{2rD} x^2,$$

где

$$F_{01}(t) = 3Df_1(t) + \partial_{0t}^\alpha k_\mu f_1(\eta) + \frac{6D}{r} f_0(t).$$

Линеаризованное уравнение Ричардса

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \text{sign } y \cdot |y|^p \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0, \quad 0 < x < r,$$

с нелокальным условием

$$u_x(r, y) - u_x(0, y) = \lambda \int_0^r u(x, y) dx, \quad T_- \leq y \leq T_+,$$

где

$$y = (t - t_*)\sqrt{c_0}, \quad u(x, y) = \Theta(x, t_* + y/\sqrt{c_0}), \\ \lambda = \text{const} > 0, \quad T_- = -t_*\sqrt{c_0}, \quad T_+ = T - t_*\sqrt{c_0}.$$

Основной результат формулируется следующим образом: уравнение

$$\delta''(y) + \lambda y \delta(y) = 0, \quad T_- \leq y \leq T_+$$

представляет собой уравнение движения запаса почвенной влаги и его решение можно записать в виде

$$\delta(y) = \frac{\Gamma^2(1/3)}{2\Gamma(2/3)} \left\{ 3^{1/6} \left[ 3^{1/3} \delta(0) + \frac{2\delta'(0)}{\sqrt[3]{\lambda}} \right] A_i(z) + \right. \\ \left. + \sqrt[3]{3} \left[ \frac{\delta(0)}{\sqrt[3]{3}} - \frac{2\delta'(0)}{\sqrt[3]{3}} \right] B_i(z) \right\},$$

где  $z = -y\sqrt[3]{\lambda}$ ,  $A_i(z)$  и  $B_i(z)$  – функции Эйри первого и второго рода соответственно:

$$A_i(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{3k}}{9^{k+1/3}\Gamma(k+1)} \left[ \frac{1}{\Gamma(k+2/3)} - \frac{z}{9^{2/3}\Gamma(k+4/3)} \right], \\ B_i(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{3k}}{9^{k+1/3}\Gamma(k+1)} \left[ \frac{1}{\Gamma(k+2/3)} + \frac{z}{9^{2/3}\Gamma(k+4/3)} \right].$$

Функцию Эйри первого рода можно записать и в следующем виде [6, с.175]:

$$A_i(z) = \frac{2}{3^{7/6}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin(\frac{2\pi}{3}(k+1))}{\Gamma(\frac{k+2}{3})\Gamma(\frac{k+3}{3})} \left( \frac{z}{3^{2/3}} \right)^k, \quad |z| < \infty.$$

В качестве уравнения движения солей предложим дифференциальное уравнение дробного порядка следующего вида:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D_f \partial_{0x}^{\alpha} u(\xi, t) - a D_{0x}^{\alpha-n} \frac{\partial u(\xi, t)}{\partial \xi} + F[u],$$

где  $u = u(x, t)$  – концентрация  $c(x, t)$  почвенного раствора в точке  $x$  почвенного слоя  $0 \leq x \leq r$  в момент времени  $t \geq 0$ ;  $a = c_0/m_1$  – фактическая скорость движения воды в порах грунта;  $c_0$  – постоянная скорость фильтрации;  $m_1$  – порозность;  $u_m$  – предельная концентрация насыщения;  $F(u) = b(u_m - u)$  или  $F(u) = b[u_m - \delta(t)]$ ;

$$\delta(t) = \frac{1}{r} \int_0^r u(x, t) dx$$

– среднее солесодержание почвенного слоя мощности  $r$ ;  $D_f$  и  $b$  – коэффициент фрактальной диффузии и коэффициент растворимости соответственно; предполагается, что число  $\alpha$  принадлежит полусегменту  $]n-1, n]$ ,  $n = 1, 2, \dots$  и пропорционален (или равен) фрактальной размерности почвенного слоя.



Рассмотрим модельный вариант стационарного распределения солей в почвенном слое, в основе которого лежит уравнение

$$\partial_{0x}^{\alpha} u(x) - \omega_{\alpha} u'(x) = 0, \quad 0 \leq x \leq r,$$

где  $\omega_{\alpha} = a/D_f$ .

Получена эффективная формула

$$u'(x) = v(x) = E_{\alpha-1}[\omega_{\alpha} x^{\alpha-1}]c_1 + x E_{1/(\alpha-1)}[\omega_{\alpha} x^{\alpha-1}; 2]c_2,$$

позволяющая определить градиент концентрации солей в любой точке  $x$  почвы с фрактальной размерностью  $\alpha \in [2, 3]$ . Здесь  $c_1 = v(0)$ ,  $c_2 = v'(0)$ ,

$$E_{1/(\alpha-1)}[z; 2] = \sum_{k=0}^{n=\infty} \frac{z^k}{\Gamma(2 + k(\alpha - 1))}$$

– функция, названная М.М. Джрбашьяном [3, с.117] функцией типа Миттаг-Леффлера.

Исследуем нестационарную математическую модель солепереноса, для которой уравнение

$$\delta'(t) = D_f \partial_{0x}^{\alpha} u(x, t) - au_x, \quad 1 < \alpha < 2$$

с граничным условием

$$D_f u_x(0, t) = \varphi(t), \quad 0 \leq t \leq T$$

является базовым.

Результатом этого является следующая формула:

$$u(x, t) = \frac{\bar{\tau} E_{1/\beta}[\lambda x^{\beta}; 2 + \beta]}{E_{1/\beta}[\lambda r^{\beta}; 3 + \beta]} \left(\frac{x}{r}\right)^{\beta+1} \exp \left\{ \frac{D_f t}{r^{\beta+1} E_{1/\beta}[\lambda r^{\beta}; 3 + \beta]} \right\},$$

определяющая распределение солей в почвенном слое мощности  $r$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Аверьянов С.Ф.* Борьба с засолением орошаемых земель. – М.: Колос, 1978. – 288 с.
2. *Веригин Н.Н., Шержуков Б.С., Шапинская Г.П.* К расчету промывания засоленных почв при действии дренажа // Тр. коорд. совещ. по гидротехн.35. 1967. С.27-36.
3. *Джрбашьян М.М.* Интегральные преобразования и представления функций в комплексной области. – М.: Наука, 1966. – 672 с.
4. *Нахушев А.М.* Уравнения математической биологии. М.: Высш.шк., 1995. – 301 с.

5. *Нахушев А.М.* О некоторых способах линеаризации уравнений движения грунтовых вод и почвенной влаги // В.меж.сб. Краевые задачи для уравнений смешанного типа и родственные проблемы функционального анализа и прикладной математики. Вып. 2. Нальчик: КБГУ, 198 С.
6. *Нерпин С.В., Чудковский А.Ф.* Энерго и массообмен в системе растение-почва-воздух. Л.: Гидрометиздат, 1975. – 358 с.
7. *Полубаринова-Кочина П.Я., Пряженская В.Т., Эмих В.Н.* Математические методы в вопросах орошения. М.: Наука, 1969.
8. *Полубаринова-Кочина П.Я.* Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977.
9. *Сербина Л.И.* Об одной математической модели переноса субстанции во фрактальных средах // Математическое моделирование. 2003. Т. 15. №9. С. 17–28.
10. *Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Иванов В.К., Куклин А.И., Пахомов Е.И., Исламов А.Х., Початкова Т.Н.* Фрактальные коллоидные структуры в почвах различной зональности // ДАН. 2005. Т. 405. №3. С. 351-354.
11. *Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Иванов В.К., Куклин А.И., Пахомов Е.И., Исламов А.Х., Початкова Т.Н.* Влияние влажности на фрактальные свойства почвенных коллоидов // ДАН. 2006. Т. 409. №2. С. 199-201.
12. *Нахушев А.М.* Дробное исчисление и его применение. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 272 с.

## ABSTRACT

This work presents essentially new mathematical models of dynamics of aqueous and saline condition of soils containing fractal colloidal structures as well as the algorithms of their study.

## АННОТАЦИЯ

В данной работе предложены принципиально новые математические модели динамики водного и солевого режимов в почвах, содержащих фрактальные коллоидные структуры, и алгоритмы их исследования.

© С.Ю. Беданоква, 2009

## МОРФОЛОГИЯ И БИОЭКОЛОГИЯ ОРЕХА ЧЕРНОГО В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО – ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

**Бельмехов Р.Я., Шехмирзова М.Д.**  
(Россия, г. Майкоп)

Орех черный (*Juglans nigra*) – перспективный интродуцент Северного Кавказа. Благодаря исключительной ценности древесины, высокой ее продуктивности и большой декоративности самого дерева, он не имеет себе равных в регионе. Условия произрастания ореха черного на Северном Кавказе большей частью идентичны его исконной родине – Северной Америке.

В связи с введением в культуру, изучение морфологии и биоэкологии ореха черного в условиях Северо - Западного Кавказа являются вопросами первой значимости. Настоящие исследования выполнены нами на видовой коллекции рода «Орех» в Краснодарском лесохозяйственном селекционном центре (г. Белореченск). Насажение заложено в начале 70-х годов прошлого столетия, большая часть деревьев регулярно цветет, плодоносит.

Орех черный относится к семейству ореховых «Juglandaceae», которое входит в порядок «Juglandales». По мнению Л.А. Смоляниновой (1936) этот порядок является довольно древним. В.В. Вульф (1944) указывает, что род «*Juglans*» возник в первой половине мелового периода, поскольку его ископаемые остатки найдены в отложениях миоцена.

W.E. Mannig, (1948) установил, что эволюция семейства ореховых, шла в направлении образования раздельнополых цветков и соцветий, упрощения их строения, уменьшение числа и размеров чашелистиков, прицветников и тычинок.

Перекрестное опыление и семенное размножение в роде «*Juglans*» способствовали полиморфизму, что позволило ряду ученых выделить отдельные виды. Французский дендролог L. Dode (1957) дифференцировал род на 4 секции и 44 вида. По мнению С.Я. Соколова (1957) в роде «*Juglans*» насчитывается около 40 видов. Н.И. Кузнецов (1936), А.М. Озол и Е.И. Харькова (1958) выделяют от 15 до 20 видов. А.В. Гурский (1957) отмечал, что на территории СНГ естественно произрастает 3 вида (орех грецкий, орех серый и орех Зибольда) и 6 интродуцированных. Род «*Juglans*» в ископаемом состоянии на Кавказе представлен видами: *Juglans acuminate*, *J.attica*, *J.sieboldiana*, *J.cinerea* (Дендрофлора Кавказа, 1961).

Таким образом, в литературе нет единого мнения о видовом составе рода.

Среди интродуцированных видов Северо – Западного Кавказа наибольший интерес представляет орех черный, отличающийся быстрым ростом, высоким выходом деловой древесины и довольно ценными плодами, является деревом первой величины. А.И. Колесников (1960), А.А. Качалова (1970) и многие другие отмечают, что на родине (приатлантические штаты Северной Америки) он достигает 50-метровой высоты и более, а диаметр

ствола на высоте груди 1-2 метра. По сведениям А.В. Альбенского и А.Е. Дьяченко (1940) в северной Америке толщина стволов отдельных деревьев приближается к 3 метрам. П.Н. Алентьев констатирует, что орех черный – самое крупное дерево рода «Juglans».

Кора ствола на ранних этапах онтогенеза (в 2-х летнем возрасте) растрескивается и темнеет, у взрослых экземпляров покрывается глубокими трещинами и принимает темно – бурую окраску, почти черного цвета. Это является его важным отличительным признаком, поскольку у других видов орехов кора становится трещиноватой только к старости.

Ствол прямой полндревесный, хорошо очищается от сучьев, водяные побеги появляются редко и только на угнетенных. Древесина шоколадно – коричневого цвета, крепкая и прочная, легко обрабатывается и хорошо полируется, относится к наиболее ценным древесинам красного дерева: махагони, полисандровое дерево.

Крона у отдельно стоящих деревьев высокая, начинающаяся на высоте 2-2,5 метров, ажурная, раскидистая, у отдельно стоящих экземпляров низкоопущенная, ширококруглая, у деревьев в насаждении – продолговатая. Площадь проекции крон отдельных деревьев составляет 323 м<sup>3</sup> (Гулькевичский сахарный завод).

Побеги серо-зеленые с оливковым оттенком неравномерно или сплошь покрытые опушением из железок и звездчатых волосков; изнутри с многокамерными тонкостенными и коричневатыми перегородками.

Листья – сложные, непарноперистые, светлозеленые, длиной до 25-60 см, располагаются на ребристых побегах спирально с 13-21 (23) листочками. Листочки яйцевидно – ланцетные, постепенно заостренные к верхушке, у основания округлые, неравнобокие, по краю неправильно – тонкозубчатые, снизу по главной жилке железисто – опушенные, длиной 6-10 см и шириной до 3,5 см, сидячие или коротко – черешковые. Верхушечный – непарный, недоразвит (или отсутствует) и обычно меньше других как правило, имеют резко выраженное жилкование.

В возрасте 12 лет, по А.В. Гурскому (1957) дерево ореха черного в Отраде Кубанской имело высоту 7,4 м, диаметр 7,8 см, число листьев -1000, средняя поверхность листа -1,34 дм<sup>2</sup>, общую листовую поверхность 13,4 м<sup>2</sup>, вес сырой листы 3,5 кг, вес древесины 16,4 кг, процентное отношение веса листьев к весу древесины 21,3%.

Орех черный – однодомное, раздельнополое, ветроопыляемое растение. Цветение начинается в возрасте 7-8 лет в конце мая, одновременно с распусканием листьев. Генеративные почки закладываются в год, предшествующий цветению; тычиночные в июне, пестичные в июле. Время закладки и период их развития определяется как биологическими особенностями вида, так и экологическими условиями местопроизрастания.

Мужские цветки собраны в сережки длиной 5-15см, которые образуются весной во время распускания листьев. Сережки до 12см длиной и 1см толщиной развиваются из боковых цветочных почек и располагаются скученно у вершины побегов прошлогодного прироста в количестве от 2 до 8

на один пробег. Они имеют более густое расположение к вершине побегов. В каждой сережке насчитывается от 23 до 68 цветков, которые состоят из чешуевидного 6-лопастного околоцветника и многочисленных (до 40) коротких тычинок. Сначала пылят тычинки у основания сережек, затем раскрываются тычинки нескольких соцветий средней части сережки (период массового пыления) и заканчивается пылением тычинок, находящихся на верхушке сережки. Пыление тычиночных цветков происходит при более высоких температурах воздуха и период его короче, чем период развития тычинок.

Период развития пестичных цветков короче тычиночных и время их закладки сопряжено с окончанием роста побегов, т.е. формированием верхушечной почки. В период стадии развития зимующие зачатки пестичных цветков в верхушечных почках текущего прироста расположены в конце прорастания побега. Весенний период развития пестичных цветков начинается со второй половины апреля. С начала выдвигаются зачатки цветка, принимая по виду яйцевидную форму завязи. Количество завязей 1-2, реже 3-4.

Цветоножка и завязь светло – серо зеленоватой окраски вначале, затем палево – розоватые, липковолосистые. Цветоножка длиной до 2,5см: завязь длиной 0,8см, шириной 0,5см. Рыльца длиной 1,5см, каждое и шириной 0,4см. Пестичные цветки в количестве от 2 до 5 могут находиться на одном цветоносе. Они имеют зачаточный околоцветник и одеты снизу покрывалом из прицветников, образующих на плодах мясистую оболочку. Из цветка выступают два крупных волосистых рыльца, окраска которых варьирует от светло – зеленой до красновато – фиолетовой. Женские цветки, появляющиеся на концах молодых побегов собраны в кистях по 2-5 штук и прикреплены к побегу на черешке длиной до 2,5-3см. В них завязываются до 5, чаще до 3-х плодов. Готовность цветка к восприятию пыльцы легко определить по величине завязи; окраска становится желтовато – зеленой (высота завязи при этом равна в среднем 8см, диаметр 5см). Начало цветения пестичных цветков опаздывает на 6-8 дней по сравнению с цветением тычиночных.

Большинство деревьев с протерандричной формой цветения, т.е. сначала зацветают тычиночные цветки, а затем пестичные. У протерогиничных особей первоначально зацветают пестичные цветки, несколько позже – тычиночные, т.е. наблюдается резко выраженное явление дихогамии. Проведенные нами наблюдения показали, что период цветения мужских и женских цветков на протерогиничных деревьях более длителен, чем у протерандричных. Урожайность протерогиничных особей выше, чем у протерандричных.

По нашим наблюдениям начало цветения пестичных цветков опаздывает на 6-8 дней по сравнению с цветением тычиночных. Большинство деревьев -с протерандричной формой цветения (примерно больше половины обследованных), очень редки формы одновременно цветущих, немного меньше форм с протерандричной формой цветения.

Различить эти формы по морфологическим и другим признакам до их цветения очень трудно. В первый год цветения у большинства растений появляются только пестичные цветки и очень редко тычиночные. На второй год цветения количество тычиночных цветков возрастает, но еще преобладают пестичные. Лишь на третий год устанавливается характерная форма цветения (Н.А. Орлова, 1968). Определенный тип цветения у одного и того же дерева сохраняется не всегда. Формы с протерандричной формой цветения, в зависимости, скорее всего, от погодно-климатических условий, могут поменять тот или иной тип цветения. На это указывает П.П. Дорофеев (1948) утверждая, что сложившиеся погодные условия могут вызвать иной тип цветения, чем в прошлом году.

Как указывает Вуд, влияние погоды бывает настолько сильным, что сорт протерегиничными может оказаться в отдельные годы протерандричным и наоборот. Кочу (V. Cosin, 1958) отмечает, что под влиянием погодных условий на одном и том же дереве в отдельные годы образуются только тычиночные или только пестичные цветки. Даже в одном районе погодные условия вызывают отклонения в датах начала и окончания цветения.

У одних протогиничных особей, первоначально зацветают пестичные цветки, несколько позже – тычиночные. У других – протандричных, вначале зацветают пестичные цветки, несколько позже – тычиночные. У других, протандричных, вначале зацветают тычиночные цветки, а затем – пестичные.

Плоды – ложная костянка, форма которой бывает грушевидной, шаровидной, яйцевидной или широко эллиптической с голой или опушенной поверхностью. Размер плода в поперечнике от 3,2 до 6,5 см. Величина плодов зависит от состояния дерева и условий его роста. В условиях Северо – Западного Кавказа орех черный начинает плодоносить ежегодно начиная с 7 лет.

Перикарп шаровидный, зеленый или светло – зеленой окраски с железистыми волосками, резким ароматичным запахом, довольно сочным, при созревании не растрескивается, при взрезании сок его на воздухе быстро чернеет и окрашивает эндокарп в темно – бурый цвет. Созревание плодов наступает на 2-3 недели позже, чем у ореха грецкого.

Эндокарп от округло – кубаревидной формы до продолговато – грушевидной, достигает 5 см в диаметре, поверхность его густо – морщинистая, морщины продольные, складки между ними неострые, гладкие. Скорлупа толстая и крепкая, внутри в основании четырехгнездная (Ф.Л. Щепотьев, 1978). Полный период роста и развития плода в условиях Северо – Западного Кавказа составляет 125-130 дней.

Сразу же после оплодотворения семяпочки формируются внешние контуры и полость плода. Весьма интенсивное развитие происходит во внутренним слое плодолистика. Активное деление поверхностного слоя клеток образует внутреннюю складчатую поверхность эндокарпа. Уже в завязи заметно расположение внутренней центральной перегородки

будущего плода. На поперечном срезе завязи она представлена в виде двух противоположно направленных нитей, идущих от плодолистика к центру завязи. Нити заканчиваются округлыми бугорками - центром утолщения внутренней перегородки плодов.

С замедлением роста плода наступает затвердевание первичного и вторичного эндокарпа. До конца июня, -40-42 дня,- эндокард представляет собой мягкую тонкую пленку. Затем через 14-16 дней он становится твердым. Полное одревеснение завершается одновременно с прекращением роста плода.

Ввиду разной интенсивности роста наружного и внутреннего слоя эндокарпа местами происходит разрыв клеток, что приводит к образованию лакун (пустот). В основном рост ореха прекращается 12-20 июля.

С ростом плода интегумент смещается к периферии внутренней полости завязи, величина которой сильно варьирует. От ее объема в дальнейшем будет зависеть выход ядра. С развитием зародыша эндосперм (окруженный интегументом) подходит к внутренней поверхности эндокарпа, заполняя всю полость плода. В отличие от ореха грецкого смещение плодолистика и интегумента от центра к периферии завязи небольшое, а отсюда и полезный объем для будущего плода остается меньшим. Помимо этого, внутренние перегородки плода завершают рост и одревеснение раньше, чем первичный эндокарп. Это также отрицательно сказывается на соотношении ядра и объема ореха.

С началом одревеснения эндокарпа водянистая жидкость завязи принимает молочную окраску, сгущается, становится хрупкой и упругой.

Экзокарп образуется из околоцветника. Отмирание слоя клеток мезокарпа, при созревании плодов, приводит к отделению околоплодника от эндокарпа. В отличие от ореха грецкого при созревании плода околоплодник не растрескивается, а остается на плодах. Его удерживают многочисленные выступы эндокарпа. Семена (плоды) созревают в конце сентября и начале октября и опадают после листопада.

Полный период роста и развития плода составляет 125-130 дней и приурочен самым высоким температурам воздуха. В среднем 0,4% завязавшихся плодов опадают (механические повреждения). Плоды не подвержены болезням, не отмечаются и вредители.

Схема перехода от строения завязи цветка к структуре плода: семяпочка – зародыш и семядоли (ядро), интегумент – тонкая кожа, плодолистика – экзокарп.

Ядро – семя покрыто тонкой пленкой, сверху бронзово – коричневое, внутри желтовато – белое, плотное, съедобное. Вынимается из скорлупы с трудом.

По исследованиям В.И. Добровольского (1957), выход ядра ореха черного колеблется от 14 до 26%. Жирность ядра 57,3 – 57,8 %, содержание белков 30%, углеводов – 5,8%.

Корневая система – глубокая, стержневого типа, с мощными боковыми ответвлениями и якорными корнями. Длина корней у однолетних сеянцев

выращенных на серых лесных почвах, достигает 40-100 см. В первый год жизни корень ореха черного превышает рост стебля в 2-3 раза. В 10-ти летнем возрасте его стержневой корень проникает на глубину 5 м. Боковые корни составляют по весу 3% от общего количества корней в корнеобитаемом слое. Многие отечественные и американские исследователи отмечают смешанный тип строения корневой системы с наличием центрального глубоко идущего корня и отходящих от него многочисленных боковых, отмечается ярусность корней. Глубокое залегание корней позволяет ореху черному пользоваться почвенно – грунтовой влагой из глубоких слоев и, тем самым, обеспечивается засухоустойчивость дерева.

Орех черный размножается преимущественно семенным путем, а также вегетативно - черенками побегов, прививками, возобновляется порослью от пня. Глубина посева семян осенью 8-10 см, весной 5-7 см.

Орех черный - типичное лесное дерево, его древесина по техническим свойствам почти не отличается от древесины ореха грецкого, плотность которой выше, и по выходу стволовой части дерева, превосходит его.

Ареал распространения ореха черного простирается по восточной половине территории США и захватывает большую часть бассейна р. Миссисипи. Обычными компонентами насаждений ореха черного являются представители широколиственных лесов из различных видов дуба, ясеня американского, клена сахарного, тюльпанного дерева. В условиях Северо – Западного Кавказа к лучшим сопутствующим породам в лесных культурах следует отнести липу мелколистную, яблоню лесную, грушу, акацию белую, клен – явор.

Орех черный – почвоулучшающая древесная порода. Листовой опад его способствует лучшей минерализации лесной подстилки и образованию мягкого гумуса, он обогащает почву усвояемыми формами азота. Он является прекрасной породой для зеленого строительства при создании аллей, биогрупп, солитеров в парках и скверах. Ценность его заключается в высокой декоративности, биологической устойчивости к неблагоприятным абиотическим факторам, вредителям и болезням, санитарно – гигиенических свойствах. Является перспективным объектом для полезного лесоразведения.

Долговечность ореха черного в пределах до 400 лет.

Почвенно – климатические условия Северо – Западного Кавказа считаются оптимальными для успешного разведения культур ореха черного.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алентьев П.Н. Временные рекомендации по разведению и выращиванию ореха черного на Северном Кавказе. – Воронеж, 1988. – С. 26 - 31.
2. Гурский А.В. Основные итоги интродукции древесных растений в СССР. – М.-Л.: АН СССР, 1957. – 304 с.
3. Орлова Н.А. Биоэкологические особенности растений рода Югланс



в Чуйской долине. Автореф. канд. диссер. – Фрунзе, 1958. – 68 с.

4. Смольянинова Л.А. Орехи и их биология. Культурная флора СССР. Т. 12. – М.: Госиздат, 1936. – С. 120-121.

5. Соколов С.Я. Черный орех. Деревья и кустарники СССР. Т. 2. – М.-Л., 1951. – 165 с.

6. Щепотьев Ф.Л., Рихтер А.А., Павленко Ф.А. и др. Орехоплодные лесные культуры. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 256 с.

7. Auth Thomas. Walnut orchard management. – Oakland: Calif., 1985. – 178 p.

8. Manning W.E. The morphology of the flowers of the Juglanseae. Amer. J. Bot., 35 p. 1948ю

9. Mc. Daniels L.N. Nut growing in Ne York state. – Jthasa. N. J. 1974 – 18 p.

## ABSTRACTS

Questions on specific structure of the sort of *Juglans* (*nigra* J.) - both natural-growing and introduced on the territory of the Russian Federation are mentioned here. Among the introduced sorts the greatest interest is attracted by the *Juglans* (*nigra* J.) with its fast growth, high output of useful wood and valuable fruits. Biomorphological characteristics of the *Juglans* (*nigra* J.) like its external shape, bark, trunk, shoots, flowering, growth, development, fruit formation and fructification, root system, questions of reproduction and an area of its distribution in natural conditions are revealed in the conditions of the Northwest Caucasus.

## АННОТАЦИЯ

В статье затрагиваются вопросы о видовом составе рода *Juglans*: естественно – произрастающих и интродуцированных на территорию Российской Федерации. Среди интродуцентов наибольший интерес представляет орех черный, отличающийся быстрым ростом, высоким выходом деловой древесины и ценными плодами. Раскрываются биоморфологические признаки ореха черного в условиях Северо – Западного Кавказа: внешний облик, кора, ствол, побеги, цветение, рост, развитие образования плода и плодоношение, корневая система, вопросы размножения и ареал распространения в естественных условиях.

© Р.Я. Бельмехов,  
М.Д. Шехмирзова, 2009

## КУЛЬТУРЫ ОРЕХА ЧЕРНОГО В ДОЛИНЕ РЕКИ КУБАНЬ И ЕЕ ПРИТОКОВ

*Бельмехов Р.Д., Шехмирзова М.Д.*  
(Россия, г. Майкоп)

Конечной целью лесной интродукции является создание лесных ценозов, которые в новых условиях обеспечивали бы наивысшую продуктивность древостоев главной лесообразующей породы. Высокая продуктивность насаждений культурных ценозов, превышающая потенциальную производительность естественных ценозов обеспечивается подбором самых перспективных в отношении быстроты роста, стойкости к неблагоприятным факторам среды, устойчивости против вредителей и заболеваний рас, экотипов и форм лесных экзотов. Перспективным в этом отношении лесной породой является орех черный. Ценные его биологические свойства сочетаются с высокими лесоводственными и лесомелиоративными особенностями. В соответствующих условиях орех является быстрорастущей породой. Плотная его древесина легко обрабатывается и полируется, имеет красивую текстуру. Она относится к древесинам красного дерева и идет на изготовление высших сортов фанеры, ружейных прикладов, дорогой мебели.

Орех черный с успехом может быть использован в полезащитном лесоразведении и зеленом строительстве, а его плоды – в пищевой, легкой и медицинской промышленности. Он обладает долговечностью, устойчивостью против вредителей, а также почвоулучшающей способностью.

В Краснодарском крае впервые начали вводить в культуру орех черный в долине реки Кубань, ее притоков.

Территорию долины реки Кубань в среднем и нижнем ее течении относят к лесостепному району. Климат района сухой в северной части и умеренно - влажный в южной. Среднегодовая температура  $+10,7^{\circ}\text{C}$ , января –  $3-4^{\circ}\text{C}$ , июля -  $+23-24^{\circ}\text{C}$ , абсолютный минимум температур за период с температурой  $10^{\circ}\text{C}$ . Безморозный период продолжается в 185-225 дней. Осадков в среднем за год выпадает 500-580 мм в северной части района и 600-700 мм в южной. Лето жаркое, среднемесячная температура июля  $22-24^{\circ}\text{C}$ , а максимальная может подниматься до  $38-40^{\circ}\text{C}$ . В общем, климатические и почвенные условия благоприятны для ореха черного и агроклиматический потенциал района не уступает агроклиматическому потенциалу северной части ареала естественного произрастания ореха черного в Северной Америке.

Первые посадки относятся к началу прошлого века (30-е годы). Ряд авторов (Перевертайло, 1969; Гурский, 1957; Дюваль - Строев и др., 1969) приводят много примеров успешного роста, устойчивости и хорошего плодоношения ореха черного в зеленых насаждениях города

Краснодара и его окрестностей. В Краснодаре, Гулькевичихах, Белореченске, Майкопе (сквер ВИРа) и в других местах имеется много старых, посаженных еще до революции деревьев ореха черного, которые в условиях мягкого климата, на плодородных и влажных наносных почвах долины Кубани и Белой, находят прекрасные условия для роста и развития. Большинство из них нами обследовано. Эти деревья по мнению А.В.Гурского (1957) берут начало из парка "Тростянец" на Украине, куда они были завезены еще в начале прошлого столетия из Северо – Восточной Америки. В 80-х годах прошлого столетия П.А. Алентьевым были проведены массовые обследования состояния культуры ореха черного на Северном Кавказе. Спустя 20-25 лет эти обследования были повторены.

Самый крупный экземпляр ореха черного в г. Краснодаре в возрасте 117 лет имеет высоту 28 м, диаметр 124 см. В Краснодарском парке культуры и отдыха 97-летние деревья ореха черного достигают по нашим замерам высоты 29 м, диаметра на высоте груди - 76 см. В Ботаническом саду КубГАУ деревья ореха черного имеют среднюю высоту 24,8 м, диаметр ствола - 42 см. В сквере ВИРа г. Майкопа деревья ореха черного, посаженные в 1934 году достигают средней высоты 28 м, диаметра - 64 см, самые крупные — больше одного метра.

Мощным ростом и обильным плодоношением обладают деревья ореха черного в парке Гулькевичского сахарного завода (расположен в долине Кубани). Посажены в 1914 году. По данным наших замеров 2006 года (замерено 24 дерева) средняя высота 27 м (максимальная 28 м), средний диаметр 76 см (максимальный больше 1 м). Площадь проекции крон отдельных деревьев достигает 328 м<sup>2</sup>, а урожай орехов с одного дерева 150-220 кг. Описанные деревья являются базой заготовки семян ореха для лесокультурных целей. Все культуры довоенных и послевоенных лет в Кропоткинском лесхозе созданы семенами от этих деревьев. Прекрасным ростом и прямоствольностью обладают деревья ореха черного в аллеях посадках в сквере г. Белореченска. В 40-летнем возрасте они имеют средний диаметр 46 см, среднюю высоту 24 м (16 бонитет). Более половины из них отнесено к деловым. Здесь же произрастали три старых дерева, посаженных в 1898 году. В 92-летнем возрасте они имели диаметр 64-68 см, высоту - 24 м, а проекцию крон - 244-366 м<sup>2</sup>. Среди обследованных культур ореха черного в двух местах встречалась омела, паразитирующая на деревьях городского сквера г. Белореченска и в кв. 50 Каменноостского лесничества Гужерипльского лесхоза. В описанном районе сосредоточено около 60% культур ореха черного, заложенных на Северном Кавказе. Культуры создавались на полянах и раскорчевках: чистые и смешанные, преимущественно посадкой с различным размещением посадочных мест I x I м; 2x1 м; 3x1 м; 3x2 м; 1,5x0,7 м; 2x2 м). В качестве сопутствующей породы чаще всего высаживались дуб черешчатый и дуб Гартвиса, ясень зеленый, гледичия, акация белая, а из кустарников - свидина. Наиболее быстро растут культуры ореха черного в типе Д<sub>3</sub> на лугово-аллювиальной почве, периодически на затопляемой 1-2 недели паводковыми водами (участки в

кварталах 27 и 33 Кавказского лесничества Кропоткинского лесхоза). Успешный рост культур обусловлен здесь доступностью для корневых систем грунтовых вод, расположенных на небольшой (2-4 м) глубине. Очевидно, что на данных участках сложились оптимальные для ореха черного условия, который максимально использует их для своего роста весь вегетационный период с активными температурами.

По данным обследований П.Н. Алентьева в 1984 году в 11-летнем возрасте культуры ореха черного в кв.27 достигали высоты 13,4 м, что соответствует 1е бонитету, средний прирост в высоту составлял 1,3 м. В аналогичных условиях 24-летние культуры ореха в кв.33 Кавказского лесничества имели высоту 24,3м. Спустя 20 лет нами сделаны повторные обследования состояния культур в этих кварталах Кропоткинского лесхоза. Полученные данные позволяют сделать выводы, что описанные выше культуры ореха черного и сейчас характеризуются высокими показателями роста и качества древостоев (таблица 1).

Таблица 1.

Состояние чистых культур ореха черного в типе Д<sub>3</sub> в различном возрасте (Кавказское лесничество, Кропоткинский лесхоз)

| Квартал<br>выдел | Тип условия<br>произрастания<br>возраст | Кол-во<br>стволов |                     | Средние        |              | Распределение<br>стволов по<br>качеству % |          | Запас<br>м <sup>3</sup> /га | Класс   |            |
|------------------|-----------------------------------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------|-------------------------------------------|----------|-----------------------------|---------|------------|
|                  |                                         | шт./га            | в %<br>от<br>общего | Диаметр,<br>см | Высота,<br>м | деловые                                   | дровяные |                             | бонитет | товарности |
| 27/12            | Д <sub>3</sub> /25                      | 1036              | 77                  | 22,6±0,3       | 21,2±0,9     | 83                                        | 17       | 158                         | 1е      | 1          |
| 33/12            | Д <sub>3</sub> /38                      | 964               | 86                  | 27,4±1,1       | 27,4±0,8     | 94                                        | 6        | 386                         | 1д      | 1          |

Культуры в 33 квартале, созданные посадкой семян, с размещением 1х1 м отличаются высоким качеством древостоя - 94% стволов отнесено к деловым. Задержка в росте по диаметру обусловлена густым стоянием деревьев смолоду и отсутствием рубок ухода. В кв.27 Кавказского лесничества культуры созданы посевом с размещением посевных мест 3х1 м. Данные роста и качество насаждений на этих двух участках не дают оснований говорить о преимуществе посева перед посадкой (Швиденко, Цыганков, 1978). В обоих случаях выращены отличные насаждения. Конечной целью интродукции является создание лесных культур, которые в новых условиях обеспечивали бы не только высокую продуктивность, превышающую продуктивность естественных лесов или культур из аборигенных пород, но и высокую биологическую устойчивость культурных фитоценозов. Для создания биологически устойчивых высокопродуктивных насаждений ореха черного вопросы смешения его с другими породами имеют большое значение, а устойчивость ореха в межвидовой борьбе с другими породами возрастает с увеличением его доли в первоначальном

составе культур. В целях выяснения взаимовлияния в 1985 году П.Н. Алентьевым были обследованы культуры ореха черного с эвкомией, которые созданы в Кропоткинском лесничестве Кропоткинского лесхоза в кварталах 9 и 5. Возраст культур соответственно 26 и 33 года. Участки культур расположены в плакорных условиях. Почва - слабовыщелоченный, легкоглинистый сверхмощный малогумусный чернозем, сформировавшийся на лессовидной легкой глине. Тип условий местопроизрастания Д<sub>2-1</sub>. Орех смешивался с эвкомией по схеме Оч-Эв-Эв-Эв-Оч в кв. 5 и по схеме Оч-Эв-Оч-Эв в кв. 9 с размещением посадочных мест 1,5х1м. В кв. 5 на части участка проводилось постепенная вырубка эвкомии и орех получил большой простор для своего роста.

По результатам его обследований эвкомия в кв. 5 отстает в росте от ореха и постепенно переходит во второй ярус, не оказывая угнетающего влияния на орех, а вырубка эвкомии не улучшила его рост (на обоих участках культуры растут по 1а бонитету). Качество древостоя ореха в результате вырубки эвкомии даже ухудшилось. Деловых деревьев на участке без ухода оказалось 56%, в то время как на участке с вырубкой эвкомии - 40%. Еще лучшим качеством древостоя характеризуются 24-летние культуры ореха черного в кв. 9, где участие ореха в два раза больше и он смешивался с эвкомией в соотношении 1:1. Здесь 75% деревьев основной части древостоя ореха черного отнесено к деловым. Вся эвкомия перешла во второй ярус, а орех растет по 1а бонитету.

В 2007 году, спустя 18 лет, нами проведены повторные обследования в кв. 5 Кропоткинского лесничества Кропоткинского лесхоза. Описанные выше позиции роста сохраняются и у ореха, и у эвкомии. Сформировалось двухъярусное насаждение из редкостойного первого яруса ореха черного и густого второго яруса из эвкомии (сомкнутость - 0,9). Средняя высота ореха черного 26,4 м, средний диаметр – 20,4 см, у эвкомии соответственно -16,1 м и 16,8 см. Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют, что несмотря на глинистый механический состав почвы орех черный растет хорошо по 1а и 1б бонитету. Успешный рост ореха обусловлен в данном случае особенностью предкавказских карбонатных черноземов, которые, несмотря на тяжелый механический состав, обладают благоприятными физическими свойствами и высоким плодородием.

Частичные культуры ореха черного в долине реки Кубань и ее притоков мы исследовали в кв.13 выдел 5 Темиргоевского лесничества Лабинского лесхоза (пробная площадь 24). Участок расположен в долине реки Белой к нижним ее течению. Почва - лугово-аллювиальная, суглинистая. Тип условий местопроизрастания Д<sub>3</sub>, тип леса -дубняк ясеневый пойменный. На этом участке произрастало перестойное дубовое насаждение, после рубки которого дуб не дал поросли. Вырубка возобновилась кленом полевым, берестом и свидиной. Культуры ореха черного создавались в 1964 году, вручную под меч Колесова. Подготовка почвы производилась отвальным плугом «Апшеронец» полосами шириной 2 м, с размещением их через 6 м друг от друга. Посадка осуществлялась

вручную 2-летними сеянцами с размещением их в ряду через 2 м. Первые годы за культурами велся коридорный уход, а на 4 году поросль была срублена сплошь. В связи с отсутствием заглушения и редким размещением (6х2м) орех на богатой и влажной почве рос быстро в высоту и, особенно, по диаметру и в 35 лет достиг средней высоты 24,6 м, что соответствует 1 б бонитету. Средний диаметр 33,4 см. Культуры имеют здоровый вид, хорошо развитые кроны, орех плодоносит. Под пологом появилось естественное возобновление ореха (2,7 тыс.шт. на 1 га). Сформировалось двухъярусное насаждение из редкостойного первого яруса ореха и густого второго яруса из клена полевого (сомкнутость 0,9), что благоприятствует выращиванию в относительно короткие сроки годного к рубке орехового насаждения. К недостаткам следует отнести малое число стволов (249 шт. на 1 га). Имеют место самовольные вырубki. Состояние 35-летних культур ореха черного в типе Д<sub>3</sub> показано в табл.2.

Таблица 2.

Состояние 35-летних культур ореха черного в типе Д<sub>3</sub> (Темиргоевский участок, Курганинское лесничество, Лабинский лесхоз)

| Количество стволов                            |               | Средние     |           | Распределение стволов по качеству, % |         | Запас м <sup>3</sup> /га |     |
|-----------------------------------------------|---------------|-------------|-----------|--------------------------------------|---------|--------------------------|-----|
| шт./га                                        | в % от общего | диаметр, см | высота, м | высок окачествен.                    | деловые | дровянные                |     |
| Основная часть древостоя (I-III классы роста) |               |             |           |                                      |         |                          |     |
| 274                                           | 77,6          | 33,9±0,4    | 22,5±0,9  | 3,6                                  | 80,1    | 16,3                     | 272 |
| Отставшая часть древостоя (IV-V классы роста) |               |             |           |                                      |         |                          |     |
| 79                                            | 22,4          | 13,3±0,4    | 16,2±0,6  | -                                    | 60,0    | 40,0                     | 9   |
| Итого:                                        | 100           | 30,5±1,0    | 21,1±0,8  | 2,8                                  | 75,4    | 21,8                     | 281 |

Учитывая, что в 50-летнем сомкнутом ореховом древостое должно быть, как указывает А.И. Швиденко, П.А. Цыганков (1978) не менее 300 шт. деревьев на 1 гектар, высаживать надо не менее 700-900 сеянцев ореха черного на 1 гектар. Этот небольшой производственный опыт свидетельствует о возможности выращивания культур ореха черного на нераскорчеванных вырубках, по частично обработанной почве, при ширине полос 2 м.

Проведенные нами в ряде мест обследования культур на нераскорчеванных вырубках показали, что все они погибли от заглушения порослью лиственных пород. Чтобы повысить устойчивость культур ореха

черного на вырубках необходимо закладывать их в широкие раскорчеванные полосы или производить понижение пней до уровня земли, в полосах шириной 2 м, которые следует обрабатывать дисковыми орудиями. Чтобы обеспечить механизацию работ по агротехническому уходу, без седлания рядов, понижают пни в полосе шириной 4-4,5 м. В этом случае можно и работы по осветлению культур механизировать, применяя рубщики коридоров. К сожалению, в лесхозах при создании культур ореха на вырубках применяют обычную технологию - подготавливают почву плугом ПКЛ-70, создающим узкую полосу и поэтому культуры быстро заглушаются.

Исследования черноореховых насаждений мы проводили в Красногвардейском лесничестве Красногвардейского лесхоза [кв.31, 32]. Культуры созданы на раскорчеванной вырубке, (до этого здесь произрастало тополевое насаждение). Рельеф ровный, долина реки Кубани, уровень грунтовых вод -150 см. Характеристика почв по основным признакам: мощность почвенного профиля - 85-170 см; механический состав - неоднороден; верхняя часть профиля глинистая и тяжелосуглинистая, переходящая в супесчаную и песчаную, что говорит об аллювиальном происхождении почв. Выделение окислов в виде ржавых пятен наблюдается с 35 см по всему профилю. Близкое залегание грунтовых вод создает не совсем благоприятные условия для водно-физических свойств почвы. Подготовка почвы заключалась в раскорчевке пней корчевателем, затем проводилась сплошная вспашка трактором МТЗ-50 на глубину 25-30 см. Первый год земли использовались под сельскохозяйственные культуры. Посадка осуществлялась механическим способом 3-х летними сеянцами местного питомника. В течение первых 4-х лет междурядья культур использовались под огороды. В 1997 году здесь начаты работы по формированию ПЛСУ в связи с чем было проведено первое прореживание, а в 1999 году – второе. Планируется еще одно прореживание.

Культуры создавались в двух кварталах 31,32, они расположены рядом, их разделяет высокая дамба. Здесь были заложены 2 пробные площади (кв. 32 пр.пл. №17; кв. 31 пр.пл. №18). Культуры 31 квартала расположены рядом с карьером, заполненным водой. Культуры пробной площади 17 расположены в 100-150 м от карьера, рядом с ними произрастает лесной акациевый массив.

Обследования одновозрастных (35 лет) черноореховых насаждений, созданных на раскорчеванной вырубке в Красногвардейском лесничестве Красногвардейского лесхоза показали, что культуры на этих участках, расположенных рядом, имеют хорошие, но неодинаковые таксационные показатели: на первом участке средняя высота ореха равна 18,5 см при диаметре 22,6 см; на втором - соответственно 22,4 и 23,0 см.

Лучшие таксационные показатели второго участка объясняются почвенной разностью, близостью акациевого массива, выполняющей почвоулучшающую роль. Орех черный ускоряет рост при обогащении почвы

азотом. Культуры здесь накопили большой запас ствольной древесины - 164,5 м', растут по 16 бонитету. 66% стволов отнесено к деловым.

Таким образом, исходя из приведенных данных можно сделать вывод, что климатические и почвенные условия долины реки Кубани и ее притоков благоприятны для выращивания высокопродуктивных черноореховых насаждений. При доступности грунтовых вод орех растет в течение продолжительного вегетационного периода, максимально используя солнечную энергию и плодородие почв для накопления фитомассы. Культуры ореха черного в указанных условиях растут по 1 в 1 г бонитетам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алентьев П.Н. Временные рекомендации по разведению и выращиванию ореха черного на Северном Кавказе. – Воронеж, 1988. – С. 26 - 31.

2. Гурский А.В. Основные итоги интродукции древесных растений в СССР. – М.-Л.: АН СССР, 1957. – 304 с.

## ABSTRACT

The article presents consideration of the problem of valuable *Juglans nigra* J. introduced in forest cultures in the valley of the river Kuban and its inflows. In the conditions of soft climate on fruitful and damp alluvial soils the *Juglans nigra* J. finds perfect conditions for growth and development. Here it forms forest stands considered as the best in the whole territory of the Northwest Caucasus.

Also questions of its optimum mixture with local forest forming sorts, preparation of soils for forest cultures, creation of constant forest-seed sites for seed storage and possibility of use of *Juglans* in the national economy are considered here.

## АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы введения в лесные культуры ценного гентродуцента ореха черного на территорию домены реки Кубани и ее притоков. В условиях мягкого климата на плодородных и влажных наносных почвах орех черный находит прекрасные условия для роста и развития. Здесь он формирует древостои, которые, по праву, считаются самыми лучшими на всей территории Северо-Западного Кавказа.

Рассматриваются вопросы оптимального смешения его с местными лесообразующими породами, подготовки почвы для лесных культур, создания постоянных лесосеменных участков для заготовки семян, а также возможности использования ореха черного в народном хозяйстве.

© Р.Я. Бельмехов,  
М.Д. Шехмирзова, 2009

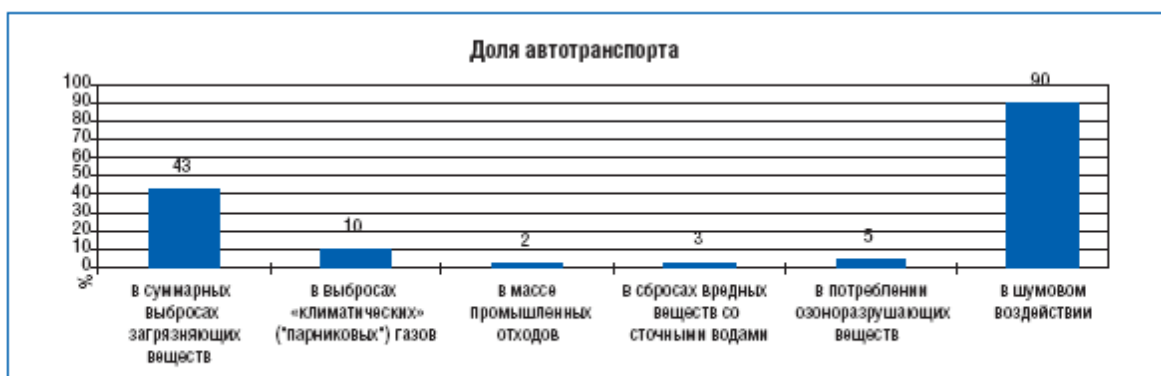


## ВОЗДЕЙСТВИЕ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА НА ЭКОЛОГИЮ РЕГИОНА

*Богачев А.В., Гук Г.А.  
(Россия, г. Майкоп)*

Проблемы экологической безопасности автомобильного транспорта являются составной частью экологической безопасности страны. Значимость и острота этой проблемы растет с увеличением автомобилизации в стране.

В суммарных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу всеми российскими техногенными источниками на долю автотранспорта приходится в среднем 43%. В выбросах «климатических» («парниковых») газов порядка 10%, в массе промышленных отходов 2%, в сбросах вредных веществ со сточными водами около 3%, в потреблении озоноразрушающих веществ до 5%. Доля автотранспорта в шумовом воздействии на население городов составляет 90 %, что наглядно представлено на рисунке 1.



*Расходы на реализацию данного программного проекта будут осуществляться из внебюджетных источников и составят в период 2002-2010 годы около 20 млрд. руб., в том числе в период 2002-2005 годы - свыше 7 млрд. руб.*

Рис. 1. Доля автотранспорта в суммарных выбросах загрязняющих веществ

Вызывает тревогу тот факт, что несмотря на проводимую работу, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от автотранспортных средств увеличивается в год в среднем на 3,1%. В результате величина ежегодного экологического ущерба от функционирования транспортного комплекса России составляет более 3,5 млрд. долл. США и продолжает расти.

Другими видами негативного воздействия транспорта на состояние окружающей среды и здоровье населения являются образование твердых отходов, загрязняющих почвы и захламляющих большие территории, вибрации, электромагнитные излучения, отчуждение земель под строительство объектов транспортной инфраструктуры и хранение автотранспортных средств, соответствующие ландшафтные изменения, загрязнение природных сред, связанное с авариями при транспортировке опасных грузов. Известно, что ежегодный экологический ущерб от функционирования всех видов транспорта России только по таким видам негативного воздействия, как загрязнение воздуха, шум и влияние на климат, составляет около 170 млрд. рублей. Оценки выбросов автотранспорта в

атмосферу загрязняющих веществ в целом по России приведены в таблице 1, а стационарных источников транспортного комплекса в таблице 2.

Таблица 1.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу транспортными средствами в 2006 г., тыс. тонн

| <i>Вид транспорта</i>        | <i>CO</i> | <i>C<sub>n</sub>H<sub>m</sub></i> | <i>NO<sub>x</sub></i> | <i>C</i> | <i>SO<sub>2</sub></i> | <i>Pb</i> | <i>Всего</i> |
|------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------|--------------|
| Автомобильный                | 9356      | 1311                              | 1694                  | 50       | 228                   | 1,1       | 12640,1      |
| Речной                       | 14,9      | 11,1                              | 42,3                  | 4,5      | 14,9                  | –         | 87,7         |
| Морской                      | 11,6      | 8,0                               | 29,4                  | 2,6      | 30,5                  | –         | 82,1         |
| Воздушный                    | 33,5      | 6,0                               | 58                    | –        | 12,5                  | –         | 110          |
| Железнодорожный              | 36,7      | 22,7                              | 149                   | 9,0      | –                     | –         | 217,4        |
| Промышленный железнодорожный | 7,8       | 4,5                               | 33                    | 1,6      | –                     | –         | 46,9         |
| Дорожные машины              | 128       | 25                                | 65                    | 5,5      | 9,1                   | 0,03      | 232,6        |
| Итого                        | 9588,5    | 1388,3                            | 2070,7                | 73,2     | 295                   | 1,1       | 13416,8      |

Таблица 2.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу стационарными объектами транспортного комплекса в 2006г., тыс. тонн

| <i>Вид транспорта</i> | <i>CO</i> | <i>C<sub>n</sub>H<sub>m</sub></i> | <i>NO<sub>x</sub></i> | <i>C</i> | <i>SO<sub>2</sub></i> | <i>Pb</i> | <i>Твердые частицы</i> | <i>Всего</i> |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------|------------------------|--------------|
| Автомобильный         | 64,4      | 11,7                              | 3,6                   | 3,0      | 10,0                  | 0,03      | 7,7                    | 100,4        |
| Речной                | 16,0      | 0,7                               | 2,8                   | –        | 8,6                   | –         | 8,8                    | 36,9         |
| Морской               | 8,4       | 1,4                               | 5,5                   | –        | 8,9                   | –         | 68,2                   | 92,4         |
| Воздушный             | 20,3      | 6,4                               | 6,6                   | –        | 1,3                   | –         | –                      | 34,6         |
| Дорожное хозяйство    | 98        | 23,3                              | 63,3                  | 4,2      | 29,7                  | 0,16      | –                      | 218,7        |
| Железнодорожный       | 86        | 3,5                               | 22,6                  | 1,1      | 66,3                  | –         | 72,8                   | 252,3        |
| Итого                 | 293,1     | 47,0                              | 104,4                 | 8,3      | 124,8                 | 0,19      | 157,7                  | 735,3        |

В целом по России выбросы в атмосферу загрязняющих веществ автотранспортными средствами составляют в год около 12 млн. тонн. При этом доля различных веществ в этом ущербе такова: оксиды азота 44,5%, свинец 21%, акролеин 7,5%, сажа 7,4%, оксид углерода 6%, диоксид серы 3,4%, формальдегид 2,8%, бензапирен 1,3%, ацетальдегид 1,1%, которая показана на рисунке 2.

Сброс загрязненных сточных вод от автотранспортных предприятий в целом по стране составил в 2006 г. около 8 млн. м<sup>3</sup>, при этом в водные объекты поступило около 70 тыс. тонн взвешенных веществ и около 2,5 тыс. тонн нефтепродуктов.

Особую экологическую проблему представляют отходы автотранспортного комплекса. Ежегодно масса отработавших масел и спецжидкостей составляет порядка 300 тыс. тонн, из которых перерабатывается только около 10%. Общая масса твердых отходов

достигает 3000 тыс. тонн в год, в том числе лом и отходы черных металлов 1400 тыс. тонн (перерабатывается около 48%), отходы резины 1160 тыс. тонн (перерабатывается около 15%), свинцовые аккумуляторы около 200 тыс. тонн (перерабатывается около 45%), отходы пластмасс 60 тыс. тонн (Рис 3).

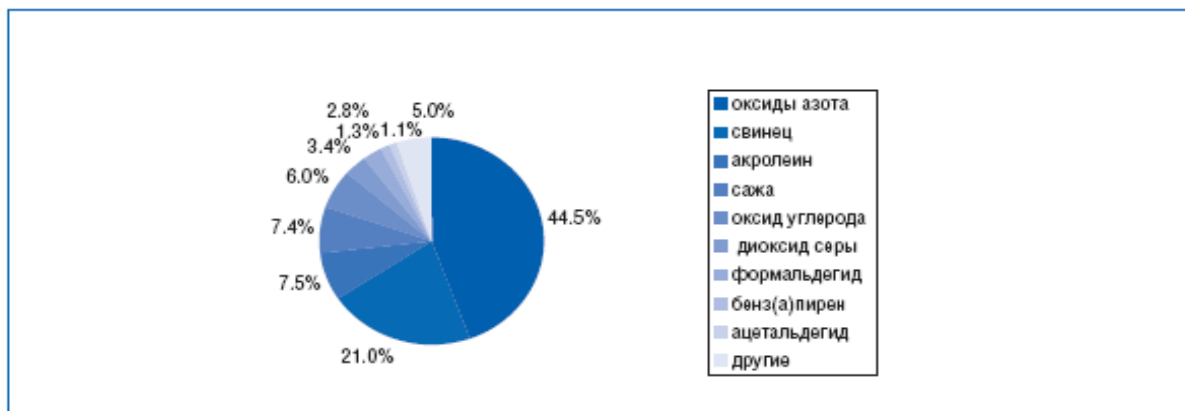


Рис 2. Процент выбросов различных веществ

На долю остальных видов транспорта суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу приходится около 1,2 млн. тонн, или в 10 раз меньше (диаграмма 1).

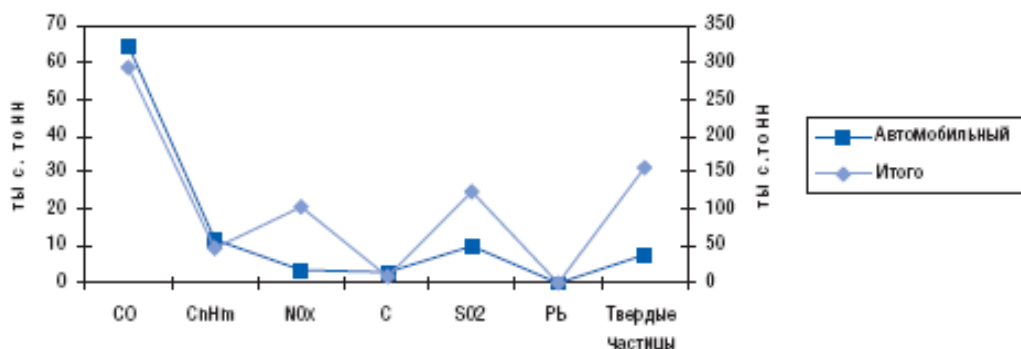


Диаграмма 1. Доля автомобильного транспорта в общей массе твердых ОТХОДОВ

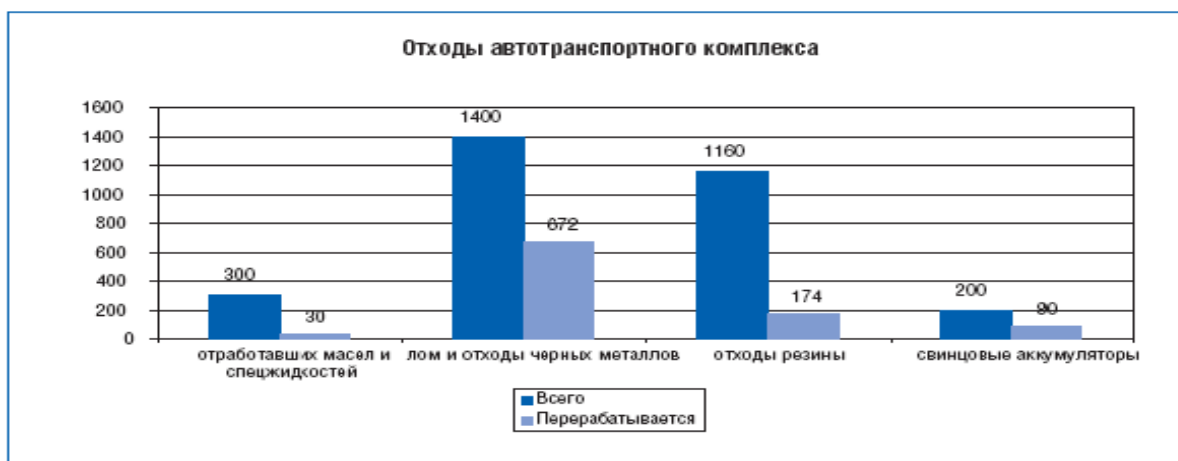


Рис 3. Отходы автотранспортного комплекса

Ежегодной утилизации подлежат примерно 1,2 млн. единиц брошенных и разукomплектованных автотранспортных средств (около 5% существующего парка). В условиях слабой организации сбора и утилизации таких автомобилей (в первую очередь личного транспорта) происходит их накопление, что представляет серьезную проблему в городах. Помимо того, безвозвратно теряются ценные материалы.

Наибольшая доля этого ущерба (до 60%) связана с перевозкой пассажиров легковыми автомобилями. На перевозки грузов автотранспортом приходится 26,5% экологического ущерба, а на автобусные перевозки 13,5%.



В Адыгее в 2007 году в бюджеты уже поступило более 9,5 млн. рублей платежей за негативное воздействие на окружающую среду, что на 4 млн. больше, чем за этот период прошлого года.

Республика Адыгея располагает относительно развитой транспортной системой. На её территории действуют все виды транспорта: автомобильный, воздушный, железнодорожный и речной (судоходство осуществляется по реке Кубань).

Автотранспортный комплекс Республики Адыгея представлен предприятиями различной формы собственности, таким как:

ОАО «Майкопское ГАТП» - грузовое автотранспортное предприятие, осуществляет перевозку грузов;

ОАО «Автоколонна 1491», содержащее автоколонну войскового типа, осуществляет пассажирские перевозки по маршрутам общего пользования городского, пригородного и междугородного сообщения;

ОАО «Объединение автовокзалов и пассажирских автостанций» предоставляет пассажирам услуги вокзалов, а также осуществляет пассажирские перевозки по маршрутам общего пользования пригородного сообщения;

ОАО «Автомобилист», ст. Гиагинская - автотранспортное предприятие смешанного типа, осуществляет перевозку грузов и пассажиров по маршрутам общего пользования городского, пригородного и междугородного сообщения;

ОАО «Тульское ГАТП» - автотранспортное предприятие смешанного типа, осуществляет перевозку грузов и пассажиров по маршрутам общего пользования городского и пригородного сообщения;

ОАО «Кошехабльское ГАТП» - автотранспортное предприятие смешанного типа, осуществляет перевозку грузов и пассажиров по маршрутам общего пользования городского и пригородного сообщения;

ОАДО «УМ и АТ» - грузовое автотранспортное предприятие и др.

Решение проблемы негативного воздействия автотранспорта на состояние окружающей среды и здоровье населения должно носить комплексный и многоаспектный характер. И здесь главенствующая роль принадлежит, как различным федеральным органам исполнительной власти, так и администрациям субъектов Российской Федерации, а также органов местного самоуправления. Как показывает зарубежный опыт, проблемы подобного масштаба и сложности решаются на основе развитого законодательства и нормативного обеспечения, регулирующего различные аспекты негативного воздействия транспорта на окружающую среду и здоровье населения, а также путем разработки и реализации долгосрочных национальных целевых программ. Такие программы сейчас, в той или иной форме, реализуются во многих развитых странах (Швеция, Финляндия, Германия, Франция, Норвегия, Австрия, Чехия, Словакия, Канада, Нидерланды и др.).

В настоящее время в Российской Федерации, как и в большинстве экономически развитых стран, решение проблемы негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду рассматривается как самостоятельное направление деятельности.

Введение на территории России с 1 января 2001 года нормы «Евро-2» пока является чисто декларативным актом, поскольку, нерациональная структура отечественной нефтепереработки (недостаточны мощности вторичных процессов) определяет низкое качество производимых бензинов и дизельного топлива, не соответствующих современным требованиям. С другой стороны, качество отечественных автомобильных двигателей оставляет желать лучшего.

Производимые в России автомобили отстают на 8-10 лет по всем показателям (в том числе и по экологии) от автомобилей, выпускаемых в настоящее время в промышленно развитых странах.

Российские двигатели в большинстве уступают зарубежным по таким показателям, как удельная мощность, экономичность, шумность, эксплуатационная технологичность, экологичность и ремонтпригодность.

Такой подход не позволяет обеспечить кардинального решения проблем повышения экологической безопасности автотранспорта. Дело в том, что он не затрагивает механизмов управления автотранспортным комплексом в целом и отраслей промышленности, обеспечивающих его безопасное функционирование. Опыт западных стран показал, что рост парка, увеличение среднегодового пробега автотранспортных средств, мощности двигателей в значительной мере нивелируют эффект, достигаемый за счёт совершенствования техники и технологий.

Недостаточная эффективность управления экологической безопасностью автотранспорта в России, вызванная общими экономическими и социальными проблемами, определяется следующими факторами:

- *несовершенство законодательной и нормативной базы в области охраны окружающей среды от воздействия автотранспорта;*
- *отсутствие действенных экономических механизмов, стимулирующих производство автотранспортной техники и расходных материалов с улучшенными экологическими характеристиками, экологически ориентированное обновление автомобильного парка, поддержание экологических характеристик автотранспортных средств в эксплуатации и т.д.;*
- *недостаточная эффективность системы государственного контроля за соблюдением экологических норм и требований, установленных действующими нормативными правовыми документами.*

По экспертным оценкам, выбросы вредных веществ автотранспортом к 2010 г. превысят уровень 2006 г. на 25-30%. Это может произойти, если в ближайшее десятилетие сохранятся темпы роста численности автомобильного парка порядка 7% в год. Автомобили, поступающие в настоящее время в автопарки, имеют те же экологические характеристики, которые были пару десятилетий назад. Перегруженность дорог, снижение эксплуатационных скоростей движения, заторы многократно увеличивают объемы выбросов выхлопных газов в атмосферу, шум, загрязнение почв и водных источников. Особенно сильно страдают от этого жители населенных пунктов, по которым проходят дороги. Там повышенный уровень заболеваемости и дискомфорта. Промедление с принятием неотложных мер по снижению воздействия транспортно дорожного комплекса на окружающую природную среду в условиях нарастающей автомобилизации страны может привести к необратимым последствиям.

Для решения вопросов экологической безопасности автотранспорта разработана ФЦП «Снижение негативного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду». Она должна содействовать устойчивому снижению уровня негативного воздействия автомобильного транспорта Российской Федерации на окружающую среду и здоровье населения на период до 2010 года при условии обеспечения потребностей населения и экономики в автомобильных перевозках.

Указанная Программа предусматривает: *улучшение качества традиционных топлив; все большее применение альтернативных моторных топлив и источников энергии; повышение экологической безопасности объектов инфраструктуры автомобильного транспорта; вторичная переработка и утилизация отходов автотранспортной деятельности; повышение экологической безопасности дорожного хозяйства.*

В среднесрочной перспективе должны быть созданы условия для стимулирования инвестиций в соответствующие проекты и программы обеспечения экологически безопасного развития и функционирования автомобильного транспорта на всех уровнях, в том числе по производству и

использованию более экологически безопасных автотранспортных средств, топлив, смазочных материалов и т.д.

Еще одной практической реализацией программноцелевого подхода к решению экологических проблем автотранспортной деятельности будет выполнение проекта «Снижение отрицательного воздействия на окружающую среду», предусмотренного подпрограммой «Автомобильные дороги» ФЦП «Модернизация транспортной системы России». Цель данного проекта обеспечить принятие неотложных мер по существенному снижению отрицательного влияния дорожной составляющей транспортнодорожного комплекса на окружающую природную среду в условиях нарастающей автомобилизации страны.

Поэтому, в настоящее время единственным путем повышения экологичности автотранспорта является его перевод на природный газ, что обеспечит сокращение вредных выбросов в окружающую среду двигателями автомобилей до уровня, отвечающего жестким европейским нормам.

Таблица 3.

Нормы токсичности выхлопа автомобилей для развитых европейских стран

| Наименования стандартов | Год введения | Содержание в выхлопе, г/квт*ч |      |                               |                 |
|-------------------------|--------------|-------------------------------|------|-------------------------------|-----------------|
|                         |              | NO <sub>x</sub>               | CO   | C <sub>x</sub> Н <sub>y</sub> | Твердые частицы |
| Евро – 0                | 1988         | 14,4                          | 11,2 | 2,5                           |                 |
| Евро – 1                | 1993         | 8,0                           | 4,5  | 1,1                           | 0,36            |
| Евро – 2                | 1996         | 7,0                           | 4,0  | 1,1                           | 0,15            |
| Евро – 3                | 1999         | 5,0                           | 2,0  | 0,6                           | 0,10            |
| Евро – 4                | 2005         | 3,5                           | 1,5  | -----                         | 0,02            |
| Евро – 5                | 2008         | 2,0                           | 1,5  | -----                         | 0,02            |

Проблема перевода автотранспорта на природный газ представляет собой решение комплекса сложных задач, среди которых наиболее значимыми являются: серийное производство газобаллонных автомобилей; создание инфраструктуры (сети) заправочных комплексов; разработка и производство надежного газобаллонного оборудования; создание сервисной сети для переоборудования автотранспортных средств; подготовка кадров; правовое и рекламно-информационное обеспечение и т.д. В связи с чем, программы газификации автотранспорта и улучшения экологической обстановки могут быть реализованы не только по указу сверху, но и при поддержке и непосредственным участие региональных властей.

В отличие от бензина, солянки и сжиженного газа метан в три раза дешевле, безопаснее и экологичнее. Аналогичный вид топлива сейчас используют во многих странах мира, и специалисты признают его перспективность.

Газификация автотранспорта – это не только решение экологических проблем, но и экономия бюджетных средств (моторное топливо из природного газа стоит наполовину дешевле нефтяного).

Эксплуатация этих газомоторных автомобилей позволяет в месяц экономить на топливе свыше 300 тыс. руб. Исследования выполненные компанией «Ленавтогаз» показывают, что предприятия, которые перевели свой автопарк на природный газ, уже через год ощутили конкретный экономический эффект. В таблице 4 приведены данные экономической выгоды конвертации автомобильного транспорта на газовое моторное топливо.

Таким образом, массовый перевод отечественных автомобилей на природный газ является наиболее рациональным, ресурсообеспеченным и экологически приемлемым путем повышения эффективности и экологизации автомобильного транспорта России.

Таблица 4.

Эффективность применения различных видов топлива

| Параметры                                                           | Бензин | Дизтопливо | СУГ (пропан) | Природный газ |
|---------------------------------------------------------------------|--------|------------|--------------|---------------|
| Объем двигателя, литров                                             | 2,0    | 2,0        | 2,0          | 2,0           |
| Выброс вредных веществ, г/км                                        | 2,4    | 2,7        | 1,8          | 1,3           |
| Расход топлива на 100 км пробега (при расчете 10л – 100%)           | 100%   | 90%        | 115-120%     | 110%          |
| Стоимость топлива, руб/л                                            | 9,2    | 7,1        | 4,3          | 3,6           |
| Итоговая стоимость топлива при пробеге 100 км, руб                  | 92     | 63,9       | 49,4         | 39,6          |
| Экономическая выгода по отношению к бензину на 100 км пробега, руб. | 0,0    | 28,1       | 42,6         | 52,4          |

Также одним из прогрессивных мероприятий по снижению отрицательного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду является широкое внедрение контейнерной технологии перевозок внешнеторговых грузов, при которой крупнотоннажные автотранспортные средства на значительные расстояния перемещаются маршрутными железнодорожными поездами на специализированных платформах, с подвозом и развозом АТС в конечных пунктах с использованием мультимодальных терминалов.

При этом учитывается, что выбросы в атмосферу всех загрязняющих веществ транспортными средствами на железнодорожном транспорте почти в 15 раз, а по СО более чем в 50 раз, меньше чем на автомобильном транспорте.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Криницкий Е. Экологичность автотранспорта должен определять Федеральный закон // Автомобильный транспорт. №9. 2000. – С. 34-37.
2. Гурьянов Д.И. Экологически чистый транспорт: направления развития // Инженер, технолог, рабочий. №2. 2001. – С. 12-14.
3. Жуков С. Природный газ – моторное топливо XXI века // Промышленность сегодня. №2. 2001. – С. 12.
4. Кириллов Н.Г. А воз и ныне там – проблема экологизации автомобильного транспорта Санкт-Петербурга // Промышленность Сегодня. № 11. 2001. – С.13.
5. Бензин, потеснишь // Фактор. №3. 2001. – С. 40-41.

## ABSTRACT

The problems of ecological safety of motor transport are the integral part of ecological safety of the country. The vital importance of this problem grows with automobilization increase in the country. The influence of motor transportation complex on the regional ecological environment is examined, various options of decisions are suggested.

## АННОТАЦИЯ

Проблемы экологической безопасности автомобильного транспорта являются составной частью экологической безопасности страны. Значимость и острота этой проблемы растет с увеличением автомобилизации в стране. В работе рассматривается влияние автотранспортного комплекса на экологию региона, предлагаются пути решения

© А.В. Богачев,  
Г.А. Гук, 2009

## ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ДРАГОЦЕННЫЕ МЕТАЛЛЫ

*Гетьманов В.В., Каблуков В.И.*  
(Россия, г. Майкоп)

По мере развития современного производства с его масштабностью и темпами роста все большую актуальность приобретают проблемы разработки и внедрения мало- и безотходных технологий. Скорейшее их решение в ряде стран рассматривается как стратегическое направление рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Безотходная технология представляет собой такой метод производства продукции, при котором все сырье и энергия используются наиболее рационально и комплексно в цикле: сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные ресурсы; и любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования. Создание безотходных производств относится к весьма сложному и длительному процессу, промежуточным этапом которого является малоотходное производство. Под малоотходным производством следует понимать такое производство (процесс, предприятие, объединение, ТПК), результаты которого при воздействии их на окружающую среду не превышают уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами. При этом по техническим, экономическим, организационным или другим причинам часть сырья и материалов может переходить в отходы и направляться на длительное хранение или захоронение.

Использование вторичного металлосодержащего сырья в современном мировом производстве металлов быстро и неуклонно растет. В ряде промышленно развитых стран производство вторичных металлов составляет 30 – 40% от общего объема металлургической промышленности. Отходы, с одной стороны, наносят огромный вред окружающей среде, с другой – представляют собой ценнейшие ресурсы, по содержанию полезных компонентов в сотни и тысячи раз превосходящие природные источники.

Приоритетным направлением представляется сбор и переработка отходов, содержащих драгоценные металлы, так называемый «электронный лом» - лом и отходы электроники (компьютеры и др.) и электротехнического оборудования, содержащие золото, серебро, платину, палладий и др.

Специфические свойства драгоценных металлов и сплавов, содержащих эти металлы, привели к широкому потреблению их в различных областях промышленности и техники.

В связи с этим неуклонно возрастает образование отходов драгоценных металлов, вопрос их полного сбора и рациональной переработки вырастает в задачу, требующую немедленного решения.

Относительное содержание благородных металлов в отходах во много раз превышает их содержание в рудах, так, например, в россыпных

месторождениях содержание золота составляет до 0,1 – 0,5 г/т руды, в коренных рудах 1 – 5 г/т. Во вторичном сырье содержание золота от 100 г/т до 100 кг/т и выше, доля благородных металлов получаемых из вторичного сырья, составляет 20 – 50 %.

Золотосодержащее вторичное сырьё подразделяется на несколько групп в зависимости от его характера и свойств:

- неметаллическое, поддающееся размолу и просеву;
- металлическое и металлосодержащее сырьё с тугоплавкими и полимерными составляющими;
- металлическое и заметалличенное сырьё без тугоплавких и полимерных составляющих.

Методы переработки вторичного сырья выбираются в зависимости от особенности сырья, содержания в них компонентов, подлежащих извлечению, а также наличию сопутствующих веществ.

В радиотехнической и электронной промышленности постоянно образуются отходы изделий из цветных металлов и их сплавов, покрытых золотом. Контакты, покрытые сплавом на основе золота, отличаются особой устойчивостью и предназначены для коммутации электрического тока до 5 – 10 ампер, с применением золота изготавливают различные элементы интегральных схем и полупроводниковых приборов, в качестве основы используется медь, ферроникелевые сплавы, вольфрам, молибден, алюминий.

С целью переработки электронного лома и отходов, содержащих драгоценные металлы, используется электролитический метод. Изделия, покрытые золотом, загружаются в сетчатый мешок из стальной проволоки. Мешок подвешивается в ванну электролизера, и он служит анодом.

В качестве катода используется листовой свинец. Электролиз ведется в электролизёре из винипласта, в качестве электролита применяется концентрированная серная кислота плотностью 1,8 – 1,84. Температура электролита не должна, превышать 30 градусов, иначе будет интенсивно растворяться основа, а также возможно прогорание сетки и высыпания сырья, на дно ванны.

Напряжение на ванне 5 вольт, катодная плотность тока 100 – 200А/м<sup>2</sup> поверхности катода. Окончание электролиза определяется по падению силы тока, для более полного снятия золотого покрытия после начала падения силы тока, напряжение необходимо поднять до 25 – 30 вольт, так как на поверхности лома осаждаются плохо проводящие электрический ток соли, которые увеличивают сопротивление ванны.

Золото в виде черного, коричневого или фиолетового шлама осаждается на дно ванны.

После накопления на дне ванны достаточного количества шлама содержимое ванны разбавляют водой в количестве 3 – 10 раз превышающем объём серной кислоты. Шлам содержит от 10% до 60% золота, 1 – 10% серебра, 1 – 5% платины. Его промывают холодной водой и растворяют в

«царской водке», из которой золото извлекается различными восстановителями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андронов, В.П. Опробование драгоценных металлов в полуфабрикатах, изделиях и отходах производства / В.П. Андронов. – М.: Металлургия, 1980. – 255 с.

2. Бойцов, А.В. Благородные металлы / А.В. Бойцов. – М.: Металлургиздат, 1946. – 385 с.

3. Варенцов, В.К. Локальное извлечение золота и серебра из растворов, используемых в производстве радиоэлектронных изделий / В.К. Варенцов // Гальванотехника и обработка поверхности. – 1993. - № 4. – С. 73-80.

4. Головин, В.А. Свойства благородных металлов и сплавов / В.А. Головин. – М.: Металлургия, 1964. – 188 с.

5. Слотинцев, Н.М. Переработка ломов платиновых металлов, переплавляемых в холодном тигле / Н.М. Слотинцев // Цветные металлы. – 1995. - № 6. – С. 66-68.

6. Способ извлечения благородных металлов из деталей и узлов конструкций электронной промышленности: пат. 2001133 РФ, МПК С 22 В 7/00 / Василенко Н.В.; Роскомдрагмет; заявл. 04.12.91, ОТИ.

7. Способ переработки отходов, содержащих драгоценные металлы: пат. 1834906 РФ, МПК С 22 В 1/02 / Ковтун В.А.; заявл. 20.06.91. ОТИ.

8. Стрижко, А.С. Разработка теоретических основ и технологии комплексной переработки вторичного серебросодержащего сырья / Л.С. Стрижко // Автореф. дис. на соискание учен. степ. д-ра техн. наук. Моск. ин-т стали и сплавов. – М., 1988. – 41 с.

## ABSTRACT

To recycle waste of contraming technic and scrap, contraining precious metals and recuperation of precious metals, in the sulphuric acid electrolysis method is offered.

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрены вопросы технологии переработки отходов электроники и электронной техники с получением вторичных драгоценных металлов. Основным звеном в технологии является электролиз с применением концентрированной серной кислоты.

© В.В. Гетьманов,  
В.И. Каблуков, 2009

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЬБРУССКОГО СПЕКТРОГРАФА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РАЗРЕЗА АТМОСФЕРЫ

*Даова С.П., Илгашев В.С., Камарзаев А.В., Кочкаров М.М., Масаев М.Б.,  
Савойский Ю.В., Суншев З.А., Суншева З.З., Хамирзов К.Х., Хоконов А.Х.  
(Россия, г. Нальчик)*

В настоящее время ведутся работы по восстановлению высокогорного Эльбрусского спектрографа космических лучей КБГУ [3], функционировавшего с 1959 по 1995 год. С 1972 года в состав спектрографа был включён нейтронный супермонитор 18NM-64 [1,3], три шестисчётчиковые секции которого размещались соответственно в городе Нальчике (450м), поселке Эльбрус (1850м) и на пике Чегет (3100м). В 1995 году вторая секция была введена в состав ливневой установки «Ковёр» БНО ИЯИ РАН (1700м) и с 2003 года включена в мировую сеть в режиме непрерывной регистрации [3]. В 2007 году нами был изготовлен мобильный высокогорный модуль нейтронного монитора, представляющего собой трёхсчётчиковую секцию стандартного монитора НМ-64, смонтированную в специальном контейнере. Этот модуль весом 9 тонн удалось поднять на высоту 3100м на пик Терскол, который непосредственно примыкает к Эльбрусу (см. карту на Рис 1.)



Рис.1. Размещение в Приэльбрусье модулей нейтронного монитора Эльбрусского спектрографа КБГУ. Стрелками показано перебазирование 1-й (высокогорной) секции с пика Чегет (3050м.) на пик Терскол (3000м.), а также перемещение 2-й секции с базы ЭУНК(1850м.) в п. Нейтрино (1700м.)

Географические координаты монитора  $43.28^{\circ}$  с.ш.  $42.69^{\circ}$  в.д. Эффективный порог геомагнитного обрезания составляет 5.7 ГВ.

Результат одновременной работы спектрографа на трех уровнях в период Форбуш понижения показан на рис. 2.

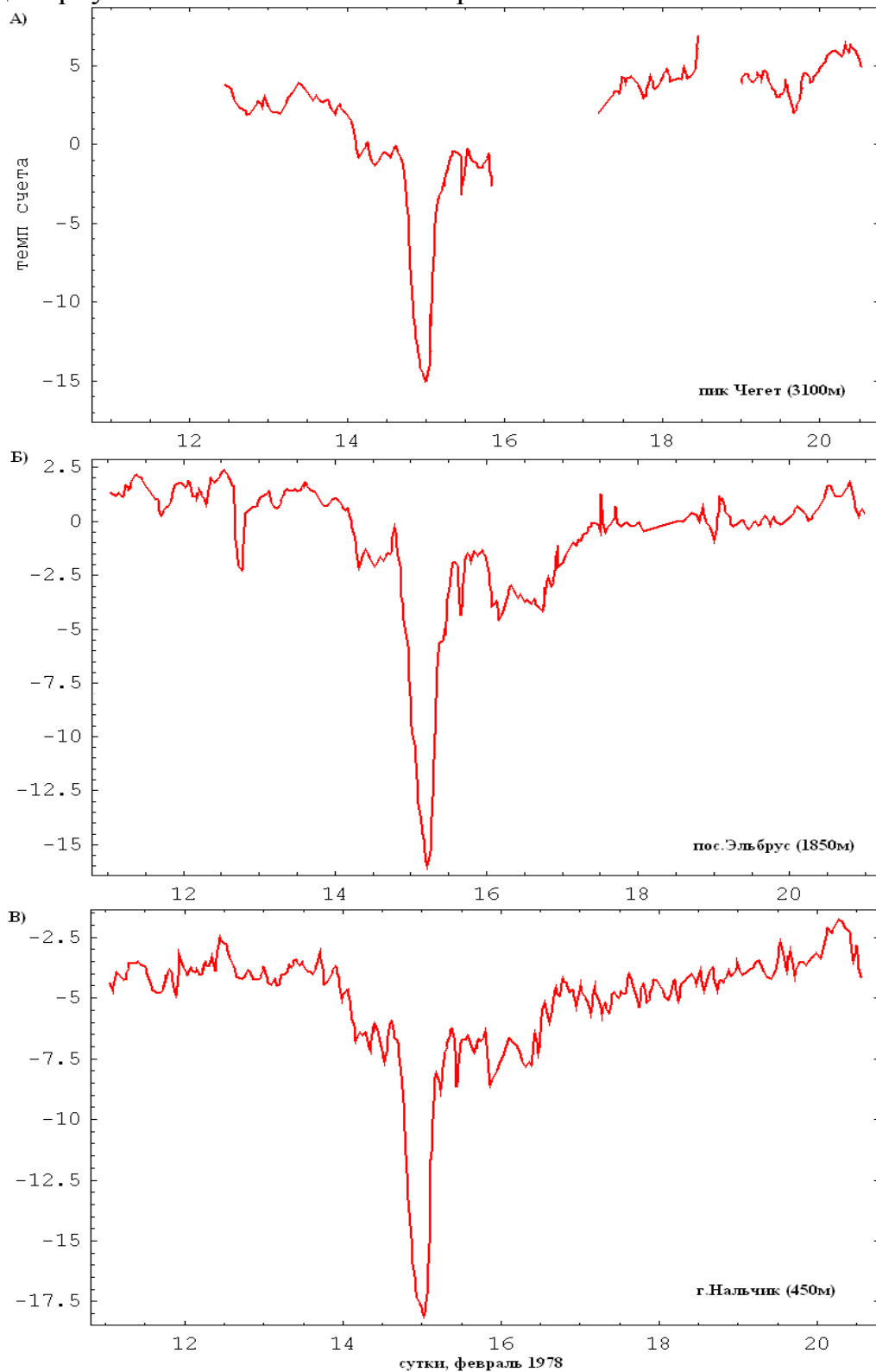


Рис.2. Регистрация Форбуш-понижения в феврале 1978 г. Эльбрусским спектрографом космических лучей. А - пик Чегет, Б - пос. Эльбрус, В - г. Нальчик.

Близость к Эльбрусу позволяет перемещать модуль по маршруту пик Терскол (3100 м), 105-й пикет (3320 м), Ледовая база (3850 м), Приют

одиннадцати (4200 м), скалы Пастухова, седловина Эльбруса (5300 м) показанному на рисунке 3.



Рис.3. Предполагаемый маршрут перемещения и места базирования мобильного модуля нейтронного модуля КБГУ.

Для этого предусмотрена установка модуля на лафет на базе шасси РЛС П-12 «Енисей» (см. фото на рисунке 4) с возможностью перемещения как на колёсах по грунту, так и на полозьях по снегу с помощью ратраков. Предусмотрен так же вариант перемещения модуля на вертолёте. На рисунке 4 показана конструкция модуля. Каркас изготовлен из профильной трубы 80x80 с дном, представляющим собой сплошной металлический лист

толщиной 4 мм. Все сварные швы усилены уголками. Поддон и ворота сделаны из двухмиллиметровых металлических листов.

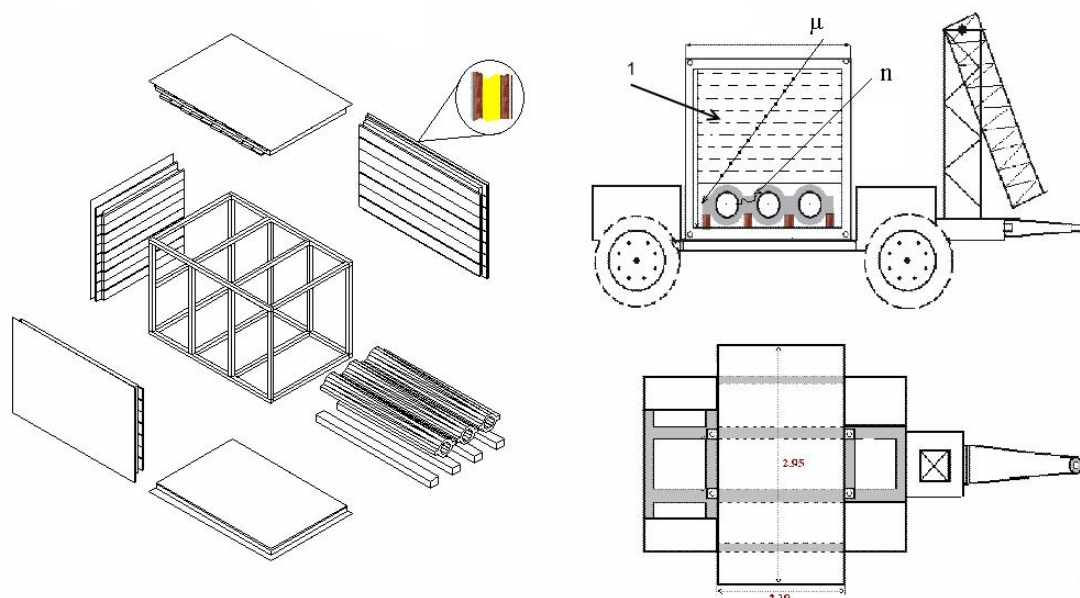


Рис.4. Конструкция мобильного высокогорного модуля КБГУ. Слева - сборочная схема контейнера и свинцового генератора, справа- контейнер с монитором на лафете. Над нейтронным монитором предполагается размещение мюонного годоскопа.

Постоянная температура ( $+10^{\circ}\text{C}$ ) поддерживается термолентой с температурным датчиком. Термоизоляция обеспечивается 6 сантиметровым слоем минеральной ваты, проложенной между внешней и внутренней деревянными обшивками толщиной 2 см, к внутренней обшивке крепится теплоотражающий экран. Модуль обшит листовой жестию 0.7 мм. На воротах установлена вентиляционная заслонка. Модуль способен выдержать большие перепады температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  и длительное время функционировать в условиях повышенной влажности, благодаря гидроизоляции. В соответствии со стандартом НМ-64 [2,3], счётчики СНМ-15 размещены в полиэтиленовых гильзах толщиной 2 см, окружённых свинцовым генератором. Свинцовые кольца генератора нейтронов, толщиной 5.5 см установлены на деревянных брусках  $15 \times 20 \text{ см}^2$  непосредственно на полиэтиленовом замедлителе-рефлекторе толщиной 3 дюйма.

Было произведено спектрометрическое включение одного счётчика СНМ-15 по схеме приведённой в работе [4].

Высотная зависимость ожидаемого темп счета приведена на рис 3. Расчет проводился при пробеге поглощения  $\lambda = 125 \text{ г/см}^2$ .



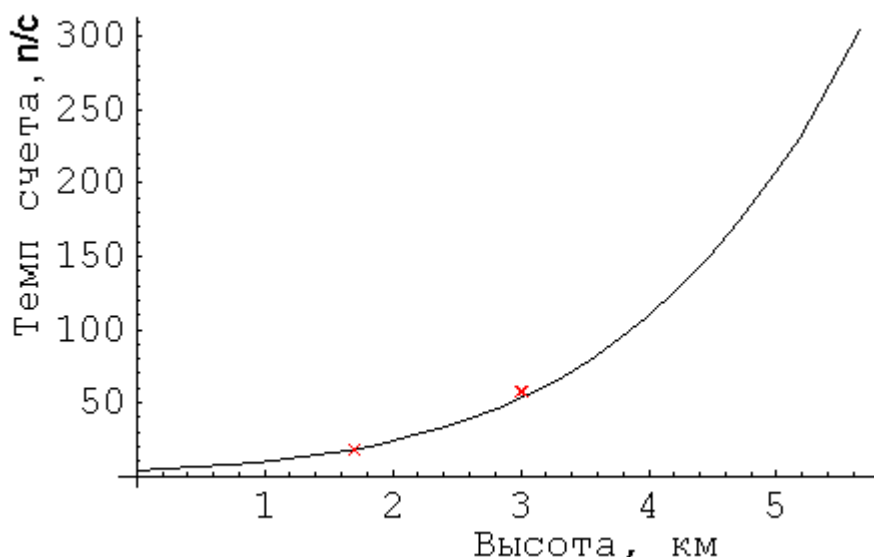


Рис. 5. Зависимость темпа счета на один счетчик СНМ-15 от высоты.

Свяжем темп счета  $R$  одного счетчика находящегося в конструктиве НМ-64 с потоком нейтронной компоненты КЛ. С этой целью запишем уравнение баланса приравнявая, количество нейтронов образующихся при локальной генерации в свинце толщиной  $l_2 = 155 \text{ г/см}^2$ , количеству тепловых нейтронов, поглощенных в счетчике СНМ-15 и свинцовом конструктиве, а также нейтронам покидающим монитор через боковую поверхность  $S$ .

$$S_1 \int_{E_0}^{E_{\max}} J(E, h) m(E, h, l_2) \left( 1 - \exp\left(-\frac{l_2}{\lambda(E)}\right) \right) dE = k R + j_t (\Sigma_2 + S(1 - \alpha_t)), \quad (2)$$

где  $k$  – количество счетчиков,  $S$  – площадь приходящаяся на один счетчик,  $J(E)$  – дифференциальный поток нейтронов на глубине  $h$ , усредненный по диаграмме направленности,  $m(E, h, l_2)$  – число вторичных нейтронов при локальной генерации в свинце толщиной  $l_2$ ,  $\lambda(E)$  – длина поглощения нейтронов,  $j_t = n_0 \langle v \rangle$  – плотность потока тепловых нейтронов,  $\Sigma_2 = \sigma_2 N_2$  – полное макроскопическое сечение поглощения в свинце,  $N_2$  – количество атомов свинца,  $\sigma_2 = 0.17$  бн – сечение поглощения тепловых нейтронов для естественной изотопной смеси свинца,  $\alpha_t$  – коэффициент отражения – альbedo тепловых нейтронов от внешнего полиэтиленового рефлектора.

В свою очередь, темп счета связан с плотностью потока тепловых нейтронов соотношением

$$R = \frac{1}{4} \Phi S_0, \quad (3)$$

где  $\Phi = n_0 \bar{v}$  – плотность потока тепловых нейтронов,  $S_0$  – чувствительность счетчика выражаемая через интеграл по его поверхности

$$S_0 = \frac{1}{V} \int \left\langle \left( 1 - \exp \left( -n_1 \sigma(|\mathbf{v}-\mathbf{v}'|) l(\mathbf{v}) \right) \right) (\mathbf{n}\mathbf{v}) \right\rangle dS,$$

где  $\mathbf{v}$  - скорость падающих нейтронов,  $\mathbf{v}'$  - скорость атомов рабочего газа,  $\mathbf{n}$  - нормаль к поверхности. Приведенные соотношения позволяют оценить

$$\text{интегральный поток нейтронов } I_0(E_0, h) = \int_{E_0}^{E_{\max}} J(E, h) dE.$$

Используя для средней кратности локальной генерации нейтронов в мониторе НМ-64 значение из [3]  $\bar{m}=1.78$ , а также слабую зависимость длины поглощения от энергии получим, что интегральный поток нейтронов на высоте 3100 м, равен  $I_0 = 240 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

Одной из задач Эльбрусского спектрографа является восстановление температурного разреза атмосферы над местом дислокации установок по результатам измерения отклонения - вариаций потоков КЛ от средних значений. Наряду с нейтронной компонентой, слабо зависящей от распределения плотностей и температуры в атмосфере необходимо измерять угловое распределение потока мюонов. С этой целью непосредственно над монитором предусмотрено место для мюонного годоскопа. Изменение температуры  $\Delta T_i$  выделенного  $i$ -го слоя атмосферы по сравнению со «стандартным» значением связаны с вариацией потока соотношением

$$\frac{\Delta I(X, E_0, \Theta_k)}{I_0(X, E_0, \Theta_k)} \cdot 100\% = \sum_{i=1}^N W(X, E_0, h_{ik}, \Theta_k) \cdot \Delta h_{ik} \cdot \Delta T_i$$

где  $k=1...N$ -количество слоев атмосферы толщины  $\Delta h_i$  (в единицах давления),  $I_0$ - интенсивность потока КЛ при «стандартных условиях»,  $W$ - температурный коэффициент. Интегральный поток мюонов с энергией превышающей пороговую энергию  $E_0$  вычисляется по формуле

$$I_\mu(E_0, X, \Theta) = \int_{E_0}^{\infty} dE \int_0^X dz \int_0^z dz' \int_{\varepsilon}^{(m_1/\mu)^2 \varepsilon} dE_1 F(E, E_1, z, z')$$

$$F(E, E_1, z, z') = A_1 \cdot F_p(z') \cdot E_1^{-\gamma} \cdot F_1(z, z')$$

$$\frac{B_1}{(1 - (\mu/m_1)^2) E_1} \cdot \frac{m_1 c^2}{c \tau_1 \rho(z) E_1} \cdot \frac{d\varepsilon(E, X - z)}{dE} \cdot F_\mu(z)$$

где  $E$  - энергия мюона на глубине наблюдения  $X$ ,  $\Theta$  - зенитный угол,  $z$  и  $z'$  - глубина генерации мюонов и мезонов вдоль трека,  $\mu$  - масса мюонов,  $E_1$  - энергия образованного мезона,  $\gamma$  - показатель спектра генерации мезонов. Вероятности прохождения без взаимодействия протонов  $F_p(z)$ , мезонов  $F_1(z, z')$  и мюонов  $F_\mu(z)$  соответственно равны

$$F_p(z) = \exp\left(-\frac{z}{L_p}\right),$$

$$F_1(z, z') = \exp\left(-\frac{z-z'}{\lambda_1} - \frac{l(z)-l(z')}{c\tau_1} \cdot \frac{m_1 c^2}{E_1}\right),$$

$$F_{\mu}(z) = \exp\left(-\int_z^X \frac{\mu c^2 dt}{c\tau_{\mu}\varepsilon(E, X-t)\rho(t)}\right).$$

где  $L_p$  - пробег поглощения протонов,  $\lambda_1$  - пробег для взаимодействия мезонов,  $\varepsilon$  - энергия мюона в точке  $z$ ,  $\tau$  и  $\tau_{\mu}$  - времена жизни мезонов и мюонов соответственно.

Работа выполняется в рамках договоров с ИЗМИРАН, ИЯИ РАН, ВГИ, ЗАО ВЭО и при поддержке гранта РФФИ 08-02-0113.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Karpov S.N., Karpova Z.M., Petkov V.B., Vashenyuk E.V., Yanke V.G. New Neutron Monitor Station in Baksan Valley // Int. J. Mod. Phys. A, 2005, V. 20, N 29, p. 6696.
2. Дорман Л.И., Либин И.Я. // Успехи физических наук, 1985 Т. 145. № 3. С.403.
3. Дорман Л.И. Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей // М.: Наука. - 1975. 402 с.
4. Хоконов А.Х., Масаев М.Б., Суншев З.А., Хамукова Л.А. // [ПЖТФ, 2008. Т. 34. № 16. С. 9.](#)
5. Суншев З.А. Высокогорный уровень Баксанского нейтронного монитора / Труды 7 БМШ. - Москва, 2007. – С. 35-45.
6. Хоконов А.Х., Суншев З.А., Кочкаров М.М. // 30-я Всероссийская конференция по космическим лучам, тезисы докладов. – 2008. - С. 132.

## ABSTRACT

The new high-mountainous module of Elbrus spectrograph KBGU disposed on the Terskol peak at height of 3100 metres has been presented. The module is intended to be a part of the world network in the mode of continuous recording of neutron builder KL. The correlation between the calculation rate of the monitor and the stream of neutron builder KL on the Terskol peak has been determined. The possibility of reconstruction of atmospheric temperature slit on the basis of the neutron monitors and the muonic hodoscope at three levels has been analyzed, high-rise dependence of the calculation rate and its change in Forbush-falls has been constructed.

## АННОТАЦИЯ

Представлен новый высокогорный модуль Эльбрусского спектрографа КБГУ, размещенный пике Терскол, на высоте 3100 метров. Модуль предназначен для включения в мировую сеть в режиме непрерывной регистрации нейтронной компоненты КЛ. Установлена связь между темпом

счета монитора и потоком нейтронной компоненты КЛ на пике Терскол. Анализируется возможность реконструкции температурного разреза атмосферы на основе данных нейтронных мониторов и мюонного годоскопа на трех уровнях, построена высотная зависимость темпа счета и его изменения в период Форбуш-понижений.

© С.П. Даова, В.С. Илгашев,  
А.В. Камарзаев, М.М. Кочкаров,  
М.Б. Масаев, Ю.В. Савойский,  
З.А. Суншев, З.З. Суншева,  
К.Х. Хамирзов, А.Х. Хоконов, 2009

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА В АТМОСФЕРЕ ГОРОДА НАЛЬЧИКА

*Дахова О.О.*  
(Россия, г. Нальчик)

Серьезнейшим источником загрязнения атмосферного воздуха в наше время стал автомобильный транспорт. Это особенно заметно в больших городах.

Основным следствием роста числа автотранспорта является рост антропогенного воздействия на окружающую среду и, прежде всего на атмосферу застроенных территорий. Выбросы автомобилей, прежде всего, опасны тем, что поступают непосредственно в приземный слой атмосферы, где скорость ветра незначительна и поэтому газы плохо рассеиваются.[1].

Цель данной работы заключается в выявлении максимально возможных концентраций загрязняющих веществ выбрасываемых автотранспортом в воздушный бассейн города Нальчика.

В процессе функционирования транспорта в атмосферу попадает громадное количество пыли, токсичных веществ, содержащихся в отработавших газах силовых установок, создаются высокие уровни шума, загрязняются воздух, почва, водоемы в результате слива и пролива горюче-смазочных материалов, образуется много других вредных для природной среды и человека веществ [2].

Уровень загазованности магистралей и примагистральных территорий зависит от интенсивности движения автомобилей, ширины и рельефа улицы, скорости ветра, доли грузового транспорта и автобусов в общем потоке и других факторов. Затруднено рассеивание выбросов автомобилей на тесных улицах. В итоге практически все жители города испытывают на себе вредное влияние загрязненного воздуха [3]

Для определения концентраций газообразных токсикантов и сажи, попадающих в придорожное пространство с выхлопами транспортных средств, используется как расчетный метод, так и метод натурного определения.

Расчет проводится для улиц с наибольшей транспортной нагрузкой, к ним относятся: проспект Ленина, проспект Шогенцукова, улица Кирова, улица Идарова, улица Чернышевского и перекрестки: Ленина – Головки, Шогенцукова – Кешокова, Кирова – Кулиева, Идарова – Кабардинская, Чернышевского – Толстого.

Выбранные автомагистрали и перекрестки наносятся на карту-схему города (с учетом масштаба карты). На этой карте фиксируются и перекрестки, на которых предполагается проведение дополнительных обследований.

Для определения характеристик автотранспортных потоков на выбранных участках улично-дорожной сети проводится учет проходящих

автотранспортных средств в обоих направлениях с подразделением по следующим группам:

I – легковые автомобили, отдельно, "отечественные" (Ло) (ВАЗ, ИЖ, ГАЗ, УАЗ, АЗЛК, ОКА, ЗАЗ) и "зарубежные" (Лз), - производства заводов дальнего зарубежья (в том числе производимых на территории РФ по лицензии заводов стран дальнего зарубежья).

II – микроавтобусы (МА) и автофургоны (АФ), отечественного (ГАЗЕЛЬ, УАЗ, РАФ) и зарубежного производства.

III – автобусы бензиновые (АК) (ПАЗ, ЛИАЗ, ЛАЗ, ГАЗ).

IV – автобусы дизельные (АД).

V – грузовые бензиновые свыше 3,5 т (включая, работающие на сжиженном нефтяном газе) (ГАЗ, ЗИЛ,) (ГК > 3,5).

VI – грузовые дизельные до 12 т. отечественного (КамАЗ, МАЗ) и зарубежного производства (ГД < 12).

VII – грузовые дизельные свыше 12 т. отечественного (МАЗ, КраЗ) и зарубежного производства (ГД > 12).

Для выявления максимальной транспортной нагрузки исследования проводились в течение рабочей недели в часы «пик» - с 8 до 11 часов и с 16 до 19 часов на основных улицах города Нальчика. Для расчета использовали максимальное количество автотранспорта проезжающего за 20 – минутный период времени по автомагистрали.

Расчеты выбросов выполнялись для следующих вредных веществ, поступающих в атмосферу с выхлопными газами автомобилей: оксид углерода, оксиды азота (в перечете на диоксид азота), углеводороды, сажа, диоксид серы, формальдегид, бенз(а)пирен.

Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества (г/с) движущимся автотранспортным потоком на автомагистрали с фиксированной протяженностью  $L$  (км) определяется по формуле:

$$M_{L_i} = \frac{L}{3600} \sum_1^k M_{k,i}^n \cdot G_k \cdot k_{V_{k,i}}; \quad \text{г/с} \quad (1)$$

где:

$M_{k,i}^n$  (г/км) – пробеговый выброс  $i$ -го вредного вещества автомобилями  $k$ -й группы для городских условий эксплуатации, определяемый по таблице 1;

$k$  - количество групп автомобилей;

$G_k$  (1/час) – фактическая наибольшая интенсивность движения, т.е. количество автомобилей каждой из  $k$  групп, проходящих через фиксированное сечение выбранного участка автомагистрали в единицу времени в обоих направлениях по всем полосам движения;

$k_{V_{k,i}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения транспортного потока ( $V_k$  км/ч) на выбранной автомагистрали (или ее участке) определяемый по таблице 2;

$\frac{1}{3600}$  – коэффициент пересчета "час" в "сек";

$L$  (км) - протяженность автомагистрали (или ее участка), из которой исключена протяженность очереди автомобилей перед запрещающим сигналом светофора и длина соответствующей зоны перекрестка (для перекрестков, на которых проводились дополнительные обследования).

Таблица 1. Значения пробеговых выбросов  $M_{k,i}''$  (г/км) для различных групп автомобилей

| Наименование группы автомобилей                                    | Номер группы | Выброс, г/км |                                                 |      |      |                 |              |                      |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------------------------------------------|------|------|-----------------|--------------|----------------------|
|                                                                    |              | CO           | NO <sub>x</sub> (в пересч. на NO <sub>2</sub> ) | CH   | Сажа | SO <sub>2</sub> | Формальдегид | Бенз(а)-пирен        |
| Легковые отечественные                                             | Ю            | 5,0          | 1,3                                             | 1,1  | 0,03 | 0,03            | 0,005        | 0,4·10 <sup>-6</sup> |
| Легковые зарубежные                                                | Из           | 2,0          | 0,7                                             | 0,4  | 0,02 | 0,03            | 0,002        | 0,2·10 <sup>-6</sup> |
| Микроавтобусы и автофургоны                                        | II           | 12,0         | 2,0                                             | 2,5  | 0,08 | 0,06            | 0,011        | 0,8·10 <sup>-6</sup> |
| Автобусы бензиновые                                                | III          | 35,0         | 5,2                                             | 8,5  | -    | 0,04            | 0,04         | 1,2·10 <sup>-6</sup> |
| Автобусы дизельные                                                 | IV           | 7,0          | 6,0                                             | 5,0  | 0,3  | 0,07            | 0,025        | 2,0·10 <sup>-6</sup> |
| Грузовые бензиновые > 3,5 т (включая работающие на сжиженном газе) | V            | 60,0         | 5,2                                             | 10,0 | -    | 0,05            | 0,05         | 4,0·10 <sup>-6</sup> |
| Грузовые дизельные < 12 т                                          | VI           | 9,0          | 7,0                                             | 5,5  | 0,4  | 0,1             | 0,025        | 2,0·10 <sup>-6</sup> |
| Грузовые дизельные > 12 т                                          | VII          | 12,0         | 8,0                                             | 6,5  | 0,5  | 0,12            | 0,03         | 2,4·10 <sup>-6</sup> |

Таблица 2. Значения коэффициентов  $k_{V_{k,i}}$ , учитывающих изменения количества выбрасываемых вредных веществ в зависимости от скорости движения

|               | Скорость движения (V, км/ч) |      |     |     |     |      |      |      |     |     |      |     |      |
|---------------|-----------------------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|------|-----|------|
|               | 10                          | 15   | 20  | 25  | 30  | 35   | 40   | 45   | 50  | 60  | 75   | 80  | 100  |
| $k_{V_{k,i}}$ | 1,35                        | 1,28 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,88 | 0,75 | 0,63 | 0,5 | 0,3 | 0,45 | 0,5 | 0,65 |

Результаты подсчетов автомобильного транспорта приведены в таблице 3.

Таблица 3. Число движущегося автотранспортного потока за 20-минутный период времени.

| Наименование<br>улицы | Число автомобилей по группам |     |           |            |    |           |           |    |                                   |              |              |
|-----------------------|------------------------------|-----|-----------|------------|----|-----------|-----------|----|-----------------------------------|--------------|--------------|
|                       | Л                            |     | ГК        |            | АК | ГД        |           | АД | Скорость движения<br>потока, км/ч |              |              |
|                       | Ло                           | Лз  | МА,<br>АФ | ГК><br>3,5 |    | ГД<<br>12 | ГД><br>12 |    | Легко<br>вые                      | Грузо<br>вые | Автоб<br>усы |
| 1                     | 2                            | 3   | 4         | 5          | 6  | 7         | 8         | 9  | 10                                | 11           | 12           |
| Ленина                | 171                          | 88  | 67        | -          | 12 | 1         | -         | -  | 60                                | 40           | 40           |
| Шогенцукова           | 270                          | 115 | 51        | -          | 3  | 1         | -         | -  | 60                                | 40           | 40           |
| Гагарина              | 428                          | 148 | 190       | 11         | 15 | 12        | -         | -  | 60                                | 40           | 40           |
| Кирова                | 190                          | 61  | 66        | -          | -  | 10        | -         | -  | 60                                | 40           | 40           |
| Чернышевского         | 104                          | 28  | 49        | -          | 7  | 3         | -         | -  | 60                                | 40           | 40           |

Для оценки транспортной нагрузки в районе регулируемых перекрестков проводились дополнительные обследования.

Последовательно на каждом направлении движения в период действия запрещающего сигнала светофора (включая и желтый цвет) выполнялся подсчет автотранспортных средств (по группам), образующих "очередь". Результаты приведены в таблице 4.

Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества (ЗВ) в зоне перекрестка при запрещающем сигнале светофора  $M_{\Pi_i}$  определяется по формуле:

$$M_{\Pi_i} = \frac{P}{40} \sum_{n=1}^{N_{\Pi}} \sum_{k=1}^{N_{gp}} (M'_{\Pi_i,k} \cdot G_{k,n}); \text{ г/мин} \quad (2)$$

где:  $P$  (мин) – продолжительность действия запрещающего сигнала светофора (включая желтый цвет);

$N_{\Pi}$  - количество циклов действия запрещающего сигнала светофора за 20-минутный период времени;

$N_{gp}$  - количество групп автомобилей;

$M'_{\Pi_i,k}$  (г/мин) – удельный выброс  $i$ -го ЗВ автомобилями,  $k$ -й группы, находящихся в "очереди" у запрещающего сигнала светофора;

$G_{k,n}$  - количество автомобилей  $k$  группы, находящихся в "очереди" в зоне перекрестка в конце  $n$ -го цикла запрещающего сигнала светофора[4].

Значения  $M'_{\Pi_i,k}$  определяются по таблице 5, в которой приведены усредненные значения удельных выбросов (г/мин), учитывающие режимы



движения автомобилей в районе перекрестка (торможение, холостой ход, разгон). Отдельно минуты были переведены в секунды.

Таблица 4. Число автотранспортных потоков стоящих на перекрестках за 20-минутный период времени

| Наименование перекрестка | Время работы запрещающего сигнала светофора, мин | Число автомобилей по группам |     |        |          |    |         |         |    |
|--------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|-----|--------|----------|----|---------|---------|----|
|                          |                                                  | Л                            |     | МА, АФ | ГК > 3,5 | АК | ГД      |         | АД |
|                          |                                                  | Ло                           | Лз  |        |          |    | ГД < 12 | ГД > 12 |    |
| Ленина-Головко           | 0,77                                             | 237                          | 120 | 74     | 12       | 9  | 3       | -       | -  |
| Шогенцукова-Кешокова     | 1.3                                              | 424                          | 144 | 115    | 11       | 10 | 7       | -       | -  |
| Гагарина-Кабардинская    | 1.5                                              | 432                          | 159 | 182    | 18       | 21 | 19      | -       | -  |
| Кирова-Кулиева           | 0,75                                             | 34                           | 18  | 19     | 2        | 2  | 2       | -       | -  |
| Чернышевского-Толстого   | 0,33                                             | 104                          | 28  | 41     | -        | 3  | 2       | -       | -  |

Таблица 5. Удельные значения выбросов для автомобилей, находящихся в зоне перекрестка  $M'_{П,к}$

| Наименование группы автомобилей                                    | Номер группы | Выброс, г/мин |                                                 |      |      |                 |              |                      |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|-------------------------------------------------|------|------|-----------------|--------------|----------------------|
|                                                                    |              | СО            | NO <sub>x</sub> (в пересч. на NO <sub>2</sub> ) | СН   | Сажа | SO <sub>2</sub> | Формальдегид | Бенз(а)-пирен        |
| Легковые отечественные                                             | Юо           | 0,8           | 0,02                                            | 0,12 | 0,02 | 0,006           | 0,0005       | 0,4·10 <sup>-6</sup> |
| Легковые зарубежные                                                | Из           | 0,3           | 0,01                                            | 0,05 | 0,01 | 0,006           | 0,0003       | 0,2·10 <sup>-6</sup> |
| Микроавтобусы и автофургоны                                        | II           | 2,0           | 0,04                                            | 0,25 | 0,04 | 0,012           | 0,0011       | 0,8·10 <sup>-6</sup> |
| Автобусы бензиновые                                                | III          | 4,0           | 0,08                                            | 0,9  | -    | 0,009           | 0,4          | 1,2·10 <sup>-6</sup> |
| Автобусы дизельные                                                 | IV           | 1,1           | 0,11                                            | 0,6  | 0,2  | 0,015           | 0,0025       | 1,6·10 <sup>-6</sup> |
| Грузовые бензиновые > 3,5 т (включая работающие на сжиженном газе) | V            | 10,0          | 0,12                                            | 1,2  | -    | 0,009           | 0,005        | 4,0·10 <sup>-6</sup> |
| Грузовые дизельные < 12т                                           | VI           | 1,5           | 0,12                                            | 0,6  | 0,23 | 0,02            | 0,0025       | 2,0·10 <sup>-6</sup> |
| Грузовые дизельные > 12т                                           | VII          | 12,0          | 8,0                                             | 6,5  | 0,5  | 0,12            | 0,03         | 2,5·10 <sup>-6</sup> |

Значения пробеговых выбросов вредных веществ от автотранспорта в атмосферу приведены в таблице 6.

Таблица 6. Пробеговой выброс вредных веществ

| Наименование<br>улицы, перекрестка | Выброс, г/с |                                                          |          |         |                 |                   |                        |
|------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------|------------------------|
|                                    | СО          | NO <sub>x</sub> (в<br>пересч.<br>на<br>NO <sub>2</sub> ) | СН       | Сажа    | SO <sub>2</sub> | Формаль-<br>дегид | Бенз(а)-<br>пирен      |
| 1                                  | 2           | 3                                                        | 4        | 5       | 6               | 7                 | 8                      |
| Ленина                             | 1,268       | 0,23753                                                  | 0,2761   | 0,00617 | 0,0057          | 0,00126           | 0,082·10 <sup>-6</sup> |
| Шогенцукова                        | 1,2513      | 0,25683                                                  | 0,2681   | 0,00738 | 0,00649         | 0,00123           | 0,092·10 <sup>-6</sup> |
| Гагарина                           | 5,1162      | 0,88725                                                  | 1,0757   | 0,02467 | 0,0201          | 0,004964          | 0,353·10 <sup>-6</sup> |
| Кирова                             | 0,7503      | 0,18231                                                  | 0,1981   | 0,00579 | 0,00335         | 0,00091           | 0,054·10 <sup>-6</sup> |
| Чернышевского                      | 0,7817      | 0,1511                                                   | 0,1735   | 0,00426 | 0,00342         | 0,0008            | 0,056·10 <sup>-6</sup> |
| Ленина-Головко                     | 0,1739      | 0,00371                                                  | 0,025102 | 0,00312 | 0,00106         | 0,001254          | 1·10 <sup>-6</sup>     |
| Шогенц.-Кешокова                   | 0,4186      | 0,0094                                                   | 0,06133  | 0,00873 | 0,0027          | 0,0024            | 1·10 <sup>-6</sup>     |
| Гагар.-Кабардинск.                 | 0,4899      | 0,0102                                                   | 0,0733   | 0,0104  | 0,003           | 0,0042            | 2,2·10 <sup>-7</sup>   |
| Кирова-Кулиева                     | 0,0016      | 0,0017                                                   | 0,0005   | 0,072   | 0,00001         | 0,00028           | 1·10 <sup>-7</sup>     |
| Черныш.-Толстого                   | 0,0258      | 0,00005                                                  | 0,0038   | 0,00005 | 0,00018         | 0,00018           | 1·10 <sup>-8</sup>     |

Распространение концентраций загрязняющих веществ рассчитывались по методике ОНД-86 [5] с использованием программных средств (УПРЗА-Эколог). Мы получили, что концентрация диоксида азота составляет 0,33 ПДК, концентрация диоксида серы – 0,12 ПДК, оксида углерода – 0,5 ПДК, сажи – 0,08 ПДК, бенз(а)пирена – 0,09 ПДК, формальдегида – 0,17 ПДК, углеводородов – 0,1 ПДК.

В таблице 7 приведены ПДК загрязняющих веществ.

Из рисунка видно, что концентрация суммы диоксида азота и диоксида серы не превышает 0,3 ПДК.

Таким образом, используя расчетный метод и метод натурного определения мы получили, что выбросы автотранспорта не превышают предельно допустимых концентраций.

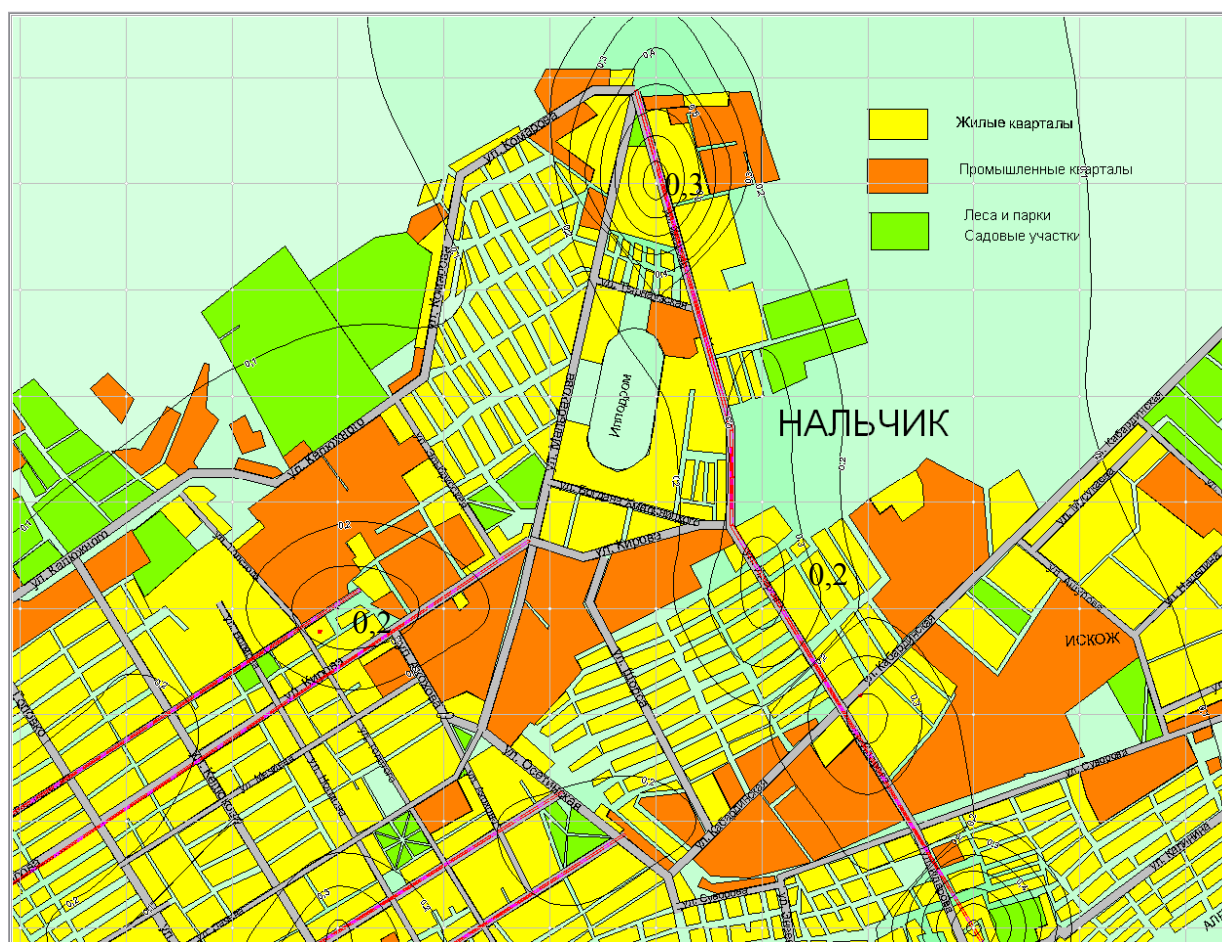
Тем не менее, нельзя утверждать, что воздушный бассейн города Нальчика является чистым, так как для полного анализа состояния атмосферы необходимо рассмотреть и выбросы промышленных предприятий, что и является предметом дальнейшего изучения.

Таблица 7. ПДК загрязняющих веществ

| ПДК | Выброс, мг/м <sup>3</sup> |                                                 |    |      |                 |              |                  |
|-----|---------------------------|-------------------------------------------------|----|------|-----------------|--------------|------------------|
|     | СО                        | NO <sub>x</sub> (в пересч. на NO <sub>2</sub> ) | СН | Сажа | SO <sub>2</sub> | Формальдегид | Бенз(а)-пирен    |
| 1   | 2                         | 3                                               | 4  | 5    | 6               | 7            | 8                |
| ПДК | 5                         | 0,2                                             | 1  | 0,15 | 0,5             | 0,035        | 10 <sup>-6</sup> |

Рассмотрим группу суммации диоксида азота и диоксида серы (рис. 1).

Рис. 1. Группа суммации диоксида азота и диоксида серы



## ЛИТЕРАТУРА

1. Экба Я. А., Дбар Р. С. Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. – Сухум, 2007. – 324 с.
2. Транспорт и окружающая среда/Под ред. М. М. Болбаса. – Минск: Технопринт, 2003. – 262 с.

3. Голубев И. Р., Новиков Ю. В. Окружающая среда и транспорт. – М.: Транспорт, 1987. – 206 с.

4. Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга, 2005. – 8 с..

5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ содержащихся в выбросах предприятий. ОНД 86, ГОСКОМГИДРОМЕТ, 1997. – 78 с.

### **ABSTRACT**

In work environmental contamination of Nalchik by motor transport is investigated.

Calculations of emissions of the polluting substances arriving in atmosphere of Nalchik with fulfilled gases of cars are resulted. Emissions of polluting substances in atmosphere were calculated by well-known techniques. It is received, that concentration of polluting substances from motor transport in Nalchik does not exceed 0,3 in maximum concentration limit shares.

### **АННОТАЦИЯ**

В работе исследуется загрязнение окружающей среды города Нальчика автотранспортом.

Приводятся расчеты выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу города Нальчика с выхлопными газами автомобилей. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу считались по общеизвестным методикам. Получено, что концентрации загрязняющих веществ от автотранспорта в городе Нальчике не превышает 0,3 ПДК.

© О.О. Дахова, 2009

КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ  
СМЕШАННОГО И ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ТИПА  
В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЛАСТЯХ

*Дёмина Т.И.*  
(Россия, г. Майкоп)

**1. Введение.** Изучение уравнений смешанного типа в силу ее прикладной важности является одной из центральных проблем теории уравнений с частными производными.

Большое внимание привлекают вопросы корректности краевых задач для дифференциальных уравнений смешанного типа. Интерес объясняется как теоретической значимостью получаемых результатов, так и их многочисленными практическими приложениями в газовой динамике, теории бесконечно малых изгибаний поверхностей, в безмоментной теории оболочек, в магнитной гидродинамике, в теории электронного рассеивания, в прогнозировании уровня грунтовых вод, в математической биологии и других областях. Поэтому разработка методов решений краевых задач для уравнений смешанного типа является одной из важных проблем современной теории дифференциальных уравнений.

Теория уравнений смешанного типа берет свое начало от фундаментальных исследований Франческо Трикоми, опубликованных в двадцатых годах прошлого столетия.

Впервые задача нахождения решения уравнения смешанного типа в смешанной области была поставлена и исследована для уравнения

$$yu_{xx} + u_{yy} = 0, \quad (1)$$

которое сейчас называют уравнением Трикоми.

Исследования были продолжены в 30-е годы М. Чибрарио и С. Геллерстедтом. Обобщения результатов Ф. Трикоми для уравнения

$$y^{2m+1}u_{xx} + u_{yy} = 0$$

принадлежат С. Геллерстедту.

С.А. Чаплыгин показал, что построение теории газовых струй тесно связано с изучением уравнения

$$k(y)u_{xx} + u_{yy} = 0,$$

которое в настоящее время носит его имя. Коэффициент  $k$  является известной функцией переменного  $y$ , которая предполагается положительной при  $y > 0$  и отрицательной при  $y < 0$ . Случай  $k(y) > 0$  соответствует дозвуковому течению, а случай  $k(y) < 0$  – сверхзвуковому течению газа.

При изучении околосзвукового течения газа приходится иметь дело с уравнением Чаплыгина в смешанных областях.

Началом нового этапа в развитии теории уравнений смешанного типа явились работы Ф.И. Франкля, в которых было показано, что задача истечения сверхзвуковой струи из сосуда с плоскими стенками сводится к задаче Трикоми для уравнения Чаплыгина. М.А. Лаврентьев предложил более простую модель уравнений смешанного типа

$$u_{xx} + \text{sign } y \cdot u_{yy} = 0, \quad (2)$$

впоследствии названное уравнением Лаврентьева-Бицадзе. А.В. Бицадзе осуществил подробное исследование этого уравнения.

И.Н. Векуа указал на важность изучения задачи Дирихле для уравнений смешанного типа в связи с задачами теории бесконечно малых изгибаний поверхностей и безмоментной теории оболочек с кривизной переменного знака. Возникла проблема нахождения областей, для которых задача Дирихле окажется корректно поставленной, что явилось объектом дискуссии многих авторов.

В работах Н.Н. Вахания [1] и I.R. Cannon [4] доказана корректность задачи Дирихле для уравнения (2) в прямоугольных областях, обладающих специальными свойствами.

А.М. Нахушевым [2] установлено, что задачи Дирихле для уравнения (2) в области  $\Omega = \Omega_1 \cup I \cup \Omega_2$ , где  $\Omega_1$  – ограниченная односвязная область верхней полуплоскости  $y > 0$  с кусочно-гладкой границей, содержащей интервал  $I : 0 < x < 1$  прямой  $y = 0$ , а  $\Omega_2 = I \times I$  – квадрат  $0 < x < 1, -1 < y < 0$ , всегда разрешима и притом единственным образом.

Единственность решения задачи Дирихле для гиперболического уравнения

$$[a^{ij}(x)u_{x_i}]_{x_j} - c(x)u - u_{yy} = 0$$

в цилиндрической области доказана D.R. Dunninger и E.C. Zachmanoglov [5], а для уравнений в частных производных смешанного типа – А.М. Нахушевым [2].

## 2. Краевые задачи для уравнения Лаврентьева-Бицадзе в прямоугольных областях.

Пусть  $D = \{(x, y) : 0 < x < 1, -\alpha < y < \beta\}$ ,  $\alpha, \beta = \text{const} > 0$ ,  $D^+ = D \cap (y > 0)$ ,  $D^- = D \cap (y < 0)$ .

Решение  $u = u(x, y)$  уравнения (2) будем называть *регулярным* в области  $D$ , если оно принадлежит классу  $C^1(\bar{D}^+) \cap C^1(\bar{D}^-) \cap C^2(D^+ \cup D^-)$ .

**Задача 1.1.** Найти регулярное решение  $u(x, y)$  уравнения (2), удовлетворяющее краевым условиям:

$$\begin{aligned} u(x, \beta) &= \varphi(x), & u(x, -\alpha) &= \psi(x), & 0 < x < 1, \\ u_x(0, y) &= \nu_0(y), & u_x(1, y) &= \nu_1(y), & -\alpha < y < \beta, \end{aligned}$$

и условиям сопряжения:

$$\lim_{y \rightarrow 0+} u(x, y) = k_1 \lim_{y \rightarrow 0-} u(x, y), \quad \lim_{y \rightarrow 0+} u_y(x, y) = k_2 \lim_{y \rightarrow 0-} u_y(x, y), \quad (3)$$

где  $k_1, k_2 = \text{const} \neq 0$ .

**Задача 1.2.** Найти регулярное решение  $u(x, y)$  уравнения (2), удовлетворяющее краевым условиям:

$$u_y(x, \beta) = \varphi(x), \quad u_y(x, -\alpha) = \psi(x), \quad 0 < x < 1, \\ u(0, y) = \mu_0(y), \quad u(1, y) = \mu_1(y), \quad -\alpha < y < \beta,$$

и условиям сопряжения (3).

Сформулированы и доказаны следующие теоремы.

**Теорема 1.1.** Пусть

$$1) \varphi(x), \psi(x) \in C^4[0, 1], \quad \nu_i(y) \in C^3[-\alpha, 0] \cap C^3[0, \beta], \quad i = 0, 1;$$

$$2) \varphi^{(n)}(0) = \varphi^{(n)}(1), \quad \psi^{(n)}(0) = \psi^{(n)}(1), \quad n = 1, 3,$$

$$\nu_i^{(n)}(-\alpha) = \nu_i^{(n)}(0) = \nu_i^{(n)}(\beta), \quad n = 0, 2, \quad i = 0, 1;$$

$$3) \int_0^1 \psi^{(4)}(x) \cos \pi k x \, dx = O(\sin \pi k \alpha), \quad k \rightarrow \infty,$$

$$\int_{-\alpha}^0 \nu_i^{(3)}(y) \cos \frac{\pi k}{\alpha} y \, dy = O\left(\sin \frac{\pi k}{\alpha}\right), \quad k \rightarrow \infty, \quad i = 0, 1;$$

$$4) \lim_{y \rightarrow 0+} \nu_i(y) = k_1 \lim_{y \rightarrow 0-} \nu_i(y), \quad i = 0, 1;$$

$$5) \alpha - \text{иррациональное число}, \quad k_1 \alpha + k_2 \beta \neq 0,$$

$$k_1 \sin \pi k \alpha \operatorname{ch} \pi k \beta + k_2 \cos \pi k \alpha \operatorname{sh} \pi k \beta \neq 0, \quad k = 1, 2, \dots$$

Тогда существует единственное решение задачи 1.1.

**Теорема 1.2.** Пусть

$$1) \varphi(x), \psi(x) \in C^3[0, 1], \quad \mu_i(y) \in C^4[-\alpha, 0] \cap C^4[0, \beta], \quad i = 0, 1;$$

$$2) \varphi^{(n)}(0) = \varphi^{(n)}(1), \quad \psi^{(n)}(0) = \psi^{(n)}(1), \quad n = 0, 2,$$

$$\mu_i^{(n)}(-\alpha) = \mu_i^{(n)}(0) = \mu_i^{(n)}(\beta), \quad n = 1, 3, \quad i = 0, 1;$$

$$3) \int_0^1 \psi^{(3)}(x) \cos \pi k x \, dx = O(\sin \pi k \alpha), \quad k \rightarrow \infty,$$

$$\int_{-\alpha}^0 \mu_i^{(4)}(y) \cos \frac{\pi k}{\alpha} y \, dy = O\left(\sin \frac{\pi k}{\alpha}\right), \quad k \rightarrow \infty, \quad i = 0, 1;$$

$$4) \lim_{y \rightarrow 0+} \mu_i(y) = k_1 \lim_{y \rightarrow 0-} \mu_i(y), \quad i = 0, 1;$$

$$5) \alpha - \text{иррациональное число},$$

$$k_2 \sin \pi k \alpha \operatorname{ch} \pi k \beta - k_1 \cos \pi k \alpha \operatorname{sh} \pi k \beta \neq 0, \quad k = 1, 2, \dots$$

Тогда существует единственное решение задачи 1.2.

Доказательство единственности решений задач 1.1 и 1.2 проводится, следуя методу, предложенному в работе [2], существования решений задач 1.1 и 1.2 – методом разделения переменных [3, с. 82].

Для задачи Неймана

**Задача 1.3.** Найти регулярное решение  $u(x, y)$  уравнения (2), удовлетворяющее краевым условиям:

$$u_y(x, \beta) = \nu_\beta(x), \quad u_y(x, -\alpha) = \nu_\alpha(x), \quad 0 < x < 1,$$

$$u_x(0, y) = \nu_0(y), \quad u_x(1, y) = \nu_1(y), \quad -\alpha < y < \beta,$$

и условиям сопряжения:

$$\lim_{y \rightarrow 0+} u(x, y) = \lim_{y \rightarrow 0-} u(x, y), \quad \lim_{y \rightarrow 0+} u_y(x, y) = \lim_{y \rightarrow 0-} u_y(x, y),$$

доказана следующая

**Теорема 1.3.** Пусть

1)  $\nu_i(x) \in C^3[0, 1]$ ,  $\nu_j(y) \in C^3[-\alpha, 0] \cap C^3[0, \beta]$ ,  $i = \alpha, \beta$ ,  $j = 0, 1$ ;

2)  $\nu'_i(0) = \nu'_i(1)$ ,  $\nu'_j(-\alpha) = \nu'_j(0) = \nu'_j(\beta)$ ,  $i = \alpha, \beta$ ,  $j = 0, 1$ ;

3)  $\int_0^1 \nu_\alpha^{(3)}(x) \sin \pi k x \, dx = O(\sin \pi k \alpha)$ ,  $k \rightarrow \infty$ ,

$\int_{-\alpha}^0 \nu_j^{(3)}(y) \sin \frac{\pi k}{\alpha} y \, dy = O\left(\sin \frac{\pi k}{\alpha}\right)$ ,  $k \rightarrow \infty$ ,  $j = 0, 1$ ;

4)  $\int_0^1 \nu_i(x) \, dx = 0$ ,  $\int_0^\beta \nu_j(y) \, dy = 0$ ,  $\int_{-\alpha}^0 \nu_j(y) \, dy = 0$ ,  
 $i = \alpha, \beta$ ,  $j = 0, 1$ ;

5)  $\alpha$  - иррациональное число,

$$\cos \pi k \alpha \operatorname{sh} \pi k \beta \neq \sin \pi k \alpha \operatorname{ch} \pi k \beta, \quad k = 1, 2, \dots$$

Тогда существует единственное с точностью до константы решение задачи 1.3.

### 3. Краевые задачи для уравнений гиперболо-эллиптического типа в цилиндрических областях.

Рассмотрим уравнение

$$Tu \equiv k(y) [a^{ij}(x) u_{x_i}]_{x_j} - u_{yy} + c(x) k(y) u = 0, \quad (4)$$

где

$$k(y) \in C^1(\bar{J}_{\alpha 0}) \cap C^1(\bar{J}_{0\beta}); \quad a^{ij}(x), \quad c(x) \in C(\bar{D}), \quad i, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$y k(y) > 0 \quad \forall y \neq 0; \quad k'(y) \geq 0 \quad \forall y \geq 0; \quad c(x) \leq 0,$$

$$a^{ij}(x) \xi_i \xi_j \geq k_0 |\xi|^2 \quad \forall x \in D, \quad \xi \in \mathbb{R}^n; \quad k_0 = \text{const} > 0.$$



Пусть  $D$  – ограниченная область евклидова пространства  $\mathbb{R}^n$  точек  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  с кусочно-гладкой границей  $\sigma$ ,  $J_{\alpha\beta}$  – интервал  $\alpha < y < \beta$  ( $\alpha < 0, \beta > 0$ );  $\Omega_{\alpha\beta} = D \times J_{\alpha\beta}$  – цилиндрическая область в пространстве  $\mathbb{R}^{n+1}$  точек  $(x, y)$ ;  $S_{\alpha\beta}$  – граница  $\Omega_{\alpha\beta}$ ;  $S_\sigma = \sigma \times J_{\alpha\beta}$  – боковая поверхность.

Решение  $u = u(x, y)$  уравнения (4) назовем *регулярным* в области  $\Omega_{\alpha\beta}$ , если  $u \in C(\bar{\Omega}_{\alpha\beta}) \cap C^1(\Omega_{\alpha\beta})$ , функции  $u_{x_j x_j}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ,  $u_{yy}$  являются непрерывными всюду в  $\Omega_{\alpha\beta}$  за исключением, быть может, точек  $(x, 0)$ ,  $x \in D$ .

В работе [2] А.М. Нахушевым был получен критерий единственности решения задачи Дирихле для уравнения (4) в области  $\Omega_{\alpha\beta}$ . Предложенный метод используется для решения смешанной задачи.

**Задача 2.1.** Найти регулярное в области  $\Omega_{\alpha\beta}$  при  $y \neq 0$  решение  $u(x, y)$  уравнения (4), удовлетворяющее условиям:

$$\begin{aligned} u_y(x, \alpha) &= \varphi_\alpha(x), \quad \forall x \in D; \\ u_y(x, \beta) &= \varphi_\beta(x), \quad \forall x \in D; \\ u(x, y) &= \psi(x, y), \quad \forall (x, y) \in S_\sigma. \end{aligned}$$

Доказана

**Теорема 2.1.** Если  $S_{\alpha\beta}$ ,  $a^{ij}(x)$  и  $c(x)$  обладают тем свойством, что система собственных функций  $\{v_m(x)\}$ , соответствующих собственным значениям  $\lambda_m$  однородной задачи  $v|_\sigma = 0$  для уравнения

$$[a^{ij}(x)v_{x_i}]_{x_j} + [c(x) + \lambda]v = 0, \quad x \in D$$

полна в пространстве  $L^2(D)$  и  $v_m(x) \in C^1(\bar{D}) \cap C^2(D)$ ,  $m = 1, 2, \dots$ , то задача 2.1 имеет не более одного решения тогда и только тогда, когда

$$\omega'_m(\beta) \neq 0 \quad \forall m,$$

где  $\omega(y)$  – решение уравнения

$$\omega''_m(y) + \lambda_m k(y) \omega_m(y) = 0$$

из класса  $C^1(\bar{J}_{\alpha\beta})$ , удовлетворяющее условию  $\omega'_m(\alpha) = 0$ .

Рассмотрим уравнение

$$\text{sign } y (u_{x_1 x_1} + u_{x_2 x_2}) - u_{yy} = 0. \quad (5)$$

В прямоугольном параллелепипеде  $\Omega_{\alpha\beta} = D \times J_{\alpha\beta}$  пространства  $\mathbb{R}^3$  точек  $(x, y)$ , где  $D$  – прямоугольная область точек  $x = (x_1, x_2)$ ,  $0 < x_i < a_i$ ,  $i = 1, 2$ , с границей  $\sigma$ ,  $J_{\alpha\beta}$  – интервал  $\alpha < y < \beta$  ( $\alpha < 0, \beta > 0$ ),  $S_{\alpha\beta}$  – граница  $\Omega_{\alpha\beta}$ ,  $S_\sigma = \sigma \times J_{\alpha\beta}$  – боковая поверхность, решается смешанная

**Задача 2.2.** Найти регулярное в области  $\Omega_{\alpha\beta}$  решение  $u(x, y)$  уравнения (5), удовлетворяющее условиям:

$$u_y(x, \alpha) = \varphi_\alpha(x), \quad \forall x \in D;$$

$$u_y(x, \beta) = \varphi_\beta(x), \quad \forall x \in D;$$

$$u(x, y) = 0, \quad \forall (x, y) \in S_\sigma.$$

Доказана

**Теорема 2.2.** Пусть

- 1)  $\frac{\partial^k \varphi_j}{\partial x_i^k} \in C(\bar{D})$ ,  $k = 1, 2, 3, 4$ ,  $j = \alpha, \beta$ ,  $i = 1, 2$ ;
- 2)  $\frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial x_i^2} \Big|_{x_i=a_i} = \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial x_i^2} \Big|_{x_i=0}$ ,  $j = \alpha, \beta$ ,  $i = 1, 2$ ;
- 3)  $\int_0^{a_1} \int_0^{a_2} \frac{\partial^4 \varphi_j}{\partial x_i^4} \sin \frac{\pi m_1 x_1}{a_1} \sin \frac{\pi m_2 x_2}{a_2} dx_1 dx_2 = O\left(\frac{\sin \sqrt{\lambda_{m_1 m_2}} \beta}{\sqrt{\lambda_{m_1 m_2}}}\right)$ ,  
 $\lambda_{m_1 m_2} = \pi^2 \left[ \left(\frac{m_1}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{m_2}{a_2}\right)^2 \right]$ ,  $j = \alpha, \beta$ ,  $i = 1, 2$ ,  $m_1, m_2 \rightarrow \infty$ ;
- 4)  $2 \cos \sqrt{\lambda_{m_1 m_2}} \beta \operatorname{sh} \sqrt{\lambda_{m_1 m_2}} \alpha + \operatorname{ch} \sqrt{\lambda_{m_1 m_2}} \beta \sin \sqrt{\lambda_{m_1 m_2}} \beta \neq 0$ ,  
 $\sin \sqrt{\lambda_{m_1 m_2}} \beta \neq 0$ ,

Тогда существует решение задачи 2.2.

#### 4. Краевые задачи для гиперболических уравнений в многомерных областях.

Рассмотрим гиперболическое уравнение

$$Lu \equiv [a^{ij}(x)u_{x_i}]_{x_j} - c(x)u - u_{yy} = 0, \quad (6)$$

где  $a^{ij}(x) = a^{ji}(x)$ ,  $\forall x \in D$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, n$ , матрица  $\|a^{ij}(x)\|$ ,  $\forall x \in D$ , положительно определена,  $c(x) \geq 0$ ,  $\forall x \in D$ , функции  $a^{ij}(x)$ ,  $c(x)$  достаточно регулярны в области  $D$ .

Здесь  $\Omega_{0T} = D \times J$  – цилиндрическая область пространства  $\mathbb{R}^{n+1}$  точек  $(x, y)$ , где  $D$  – ограниченная область евклидова пространства  $\mathbb{R}^n$  точек  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  с кусочно-гладкой границей  $\sigma$ ,  $J$  – интервал  $0 < y < T$ ,  $S_{0T}$  – граница  $\Omega_{0T}$ ,  $S_\sigma = \sigma \times J$  – боковая поверхность.

Решение  $u = u(x, y)$  уравнения (6) будем называть *регулярным* в области  $\Omega_{0T}$ , если оно принадлежит классу  $C^1(\bar{\Omega}_{0T}) \cap C^2(\Omega_{0T})$ .

**Задача 3.1.** Найти регулярное в области  $\Omega_{0T}$  решение  $u(x, y)$  уравнения (6), удовлетворяющее краевым условиям:

$$u(x, y) = \psi(x, y), \quad \forall (x, y) \in S_\sigma,$$

$$u_y(x, T) = \varphi_T(x), \quad \forall x \in D,$$

$$u(x, 0) = \psi_0(x), \quad \forall x \in D.$$

**Задача 3.2.** Найти регулярное в области  $\Omega_{0T}$  решение  $u(x, y)$  уравнения (6), удовлетворяющее краевым условиям:

$$u(x, y) = \psi(x, y), \quad \forall (x, y) \in S_\sigma,$$

$$\begin{aligned} u(x, T) &= \psi_T(x), \quad \forall x \in D, \\ u_y(x, 0) &= \varphi_0(x), \quad \forall x \in D. \end{aligned}$$

**Задача 3.3.** Найти регулярное в области  $\Omega_{0T}$  решение  $u(x, y)$  уравнения (6), удовлетворяющее краевым условиям:

$$\begin{aligned} u(x, y) &= \psi(x, y), \quad \forall (x, y) \in S_\sigma, \\ u_y(x, T) &= \varphi_T(x), \quad \forall x \in D, \\ u_y(x, 0) &= \varphi_0(x), \quad \forall x \in D. \end{aligned}$$

**Задача 3.4.** Найти регулярное в области  $\Omega_{0T}$  решение  $u(x, y)$  уравнения (6), удовлетворяющее краевым условиям:

$$\begin{aligned} u(x, y) &= \psi(x, y), \quad \forall (x, y) \in S_\sigma, \\ u(x, T) &= \psi_T(x), \quad \forall x \in D, \\ u(x, 0) &= \psi_0(x), \quad \forall x \in D. \end{aligned}$$

Задача Дирихле (задача 3.4) для уравнения (6) рассмотрена в работе [5]. Для задач 3.1 – 3.3 доказана

**Теорема 3.1.** Если  $S_{0T}$ ,  $a^{ij}(x)$  и  $c(x)$  обладают тем свойством, что система собственных функций  $\{v_k(x)\}$ , соответствующих собственным значениям  $\lambda_k$  однородной задачи

$$[a^{ij}(x)v_{x_i}]_{x_j} - c(x)v + \lambda^2 v = 0, \quad x \in D, \quad v|_\sigma = 0$$

полна в пространстве  $L^2(D)$  и  $v_k(x) \in W_2^1(D) \cap C^2(D)$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , тогда любое решение задачи 3.1, 3.2 или 3.3 тождественно равно нулю тогда и только тогда, когда выполняется условие:

для задач 3.1 и 3.2 –

$$\lambda_k T \neq \frac{\pi}{2} + \pi m, \quad k, m = 1, 2, \dots,$$

для задачи 3.3 –

$$\lambda_k T \neq \pi m, \quad k, m = 1, 2, \dots$$

Для телеграфного уравнения

$$u_{xx} - u_{yy} - u = 0, \tag{7}$$

в прямоугольной области  $\Omega = \{(x, y) : 0 < x < a, 0 < y < b\}$  решаются смешанные задачи, поставленные ранее в п.2.

**Задача 3.5.** Найти регулярное в области  $\Omega$  решение  $u(x, y)$  уравнения (7), удовлетворяющее краевым условиям:

$$u(0, y) = \mu_0(y), \quad u(a, y) = \mu_a(y), \quad 0 < y < b,$$

$$u_y(x, b) = \nu_b(x), \quad u(x, 0) = \tau(x), \quad 0 < x < a.$$

Доказана

**Теорема 3.2.** Пусть

$$1) \nu_b(x), \tau(x) \in C^4[0, a], \quad \mu_i(y) \in C^4[0, b], \quad i = 0, a;$$

$$2) \nu_b^{(n)}(0) = \nu_b^{(n)}(a), \quad \mu_i^{(n)}(0) = \mu_i^{(n)}(b), \quad \tau^{(n)}(0) = \tau^{(n)}(a), \quad n = 0, 2,$$

$$\nu_b^{(n)}(a) = \tau^{(n)}(a) = \mu_i^{(n)}(b) = 0, \quad i = 0, a, \quad n = 1, 3;$$

$$3) \int_0^a \nu_b^{(4)}(x) \sin \lambda_{4k} x \, dx = O(\sin \lambda_{3k} b),$$

$$\int_0^a \tau^{(4)}(x) \sin \lambda_{4k} x \, dx = O(\sin \lambda_{3k} b),$$

$$\int_0^b \mu_i^{(4)}(y) \sin \lambda_{2k} y \, dy = O(\sin \lambda_{1k} a), \quad i = 0, a,$$

$$\lambda_{1k} = \sqrt{\frac{\pi^2(1+2k)^2}{4b^2} - c}, \quad \lambda_{2k} = \frac{\pi(1+2k)}{2b}, \quad \lambda_{3k} = \sqrt{\frac{\pi^2 k^2}{a^2} + c}, \quad \lambda_{4k} = \frac{\pi k}{a};$$

$$4) \lambda_{1k} a \neq \pi m, \quad \lambda_{3k} b \neq \frac{\pi}{2} + \pi m, \quad k, m = 1, 2, \dots$$

Тогда существует единственное решение задачи 3.5.

**Задача 3.6.** Найти регулярное в области  $\Omega$  решение  $u(x, y)$  уравнения (7), удовлетворяющее краевым условиям:

$$u(0, y) = \mu_0(y), \quad u(a, y) = \mu_a(y), \quad 0 < y < b,$$

$$u(x, b) = \varphi(x), \quad u_y(x, 0) = \nu(x), \quad 0 < x < a.$$

Доказана

**Теорема 3.3.** Пусть

$$1) \varphi(x), \nu(x) \in C^4[0, a], \quad \mu_i(y) \in C^4[0, b], \quad i = 0, a;$$

$$2) \varphi^{(n)}(0) = \varphi^{(n)}(a), \quad \nu^{(n)}(0) = \nu^{(n)}(a), \quad \mu_i^{(n)}(b) = 0, \quad n = 0, 2,$$

$$\mu_i^{(n)}(0) = \mu_i^{(n)}(b), \quad \varphi^{(n)}(a) = \nu^{(n)}(a) = 0, \quad i = 0, a, \quad n = 1, 3;$$

$$3) \int_0^b \mu_i(y) \, dy = 0, \quad i = 0, a;$$

$$4) \int_0^a \varphi^{(4)}(x) \sin \lambda_{4k} x \, dx = O(\cos \lambda_{3k} b),$$

$$\int_0^a \nu^{(4)}(x) \sin \lambda_{4k} x \, dx = O(\cos \lambda_{3k} b),$$

$$\int_0^b \mu_i^{(4)}(y) \cos \lambda_{2k} y \, dy = O(\sin \lambda_{1k} a), \quad i = 0, a,$$

$$\lambda_{1k} = \sqrt{\frac{\pi^2(1+2k)^2}{4b^2} - c}, \quad \lambda_{2k} = \frac{\pi(1+2k)}{2b}, \quad \lambda_{3k} = \sqrt{\frac{\pi^2k^2}{a^2} + c}, \quad \lambda_{4k} = \frac{\pi k}{a};$$

$$5) \lambda_{1k}a \neq \pi m, \quad \lambda_{3k}b \neq \frac{\pi}{2} + \pi m, \quad k, m = 1, 2, \dots$$

Тогда существует единственное решение задачи 3.6.

**Задача 3.7.** Найти регулярное в области  $\Omega$  решение  $u(x, y)$  уравнения (7), удовлетворяющее крайевым условиям:

$$u(0, y) = \mu_0(y), \quad u(a, y) = \mu_a(y), \quad 0 < y < b,$$

$$u_y(x, b) = \nu_b(x), \quad u_y(x, 0) = \nu(x), \quad 0 < x < a.$$

Доказана

**Теорема 3.4.** Пусть

$$1) \nu_b(x), \nu(x) \in C^4[0, a], \quad \mu_i(y) \in C^4[0, b], \quad i = 0, a;$$

$$2) \nu_b^{(n)}(0) = \nu_b^{(n)}(a), \quad \nu^{(n)}(0) = \nu^{(n)}(a), \quad \mu_i^{(n)}(b) = 0, \quad n = 0, 2,$$

$$\mu_i^{(n)}(0) = \mu_i^{(n)}(b), \quad \nu_b^{(n)}(a) = \nu^{(n)}(a) = 0, \quad i = 0, a, \quad n = 1, 3;$$

$$3) \int_0^a \nu_b^{(4)}(x) \sin \lambda_{4k}x \, dx = O(\cos \lambda_{3k}b),$$

$$\int_0^a \nu^{(4)}(x) \sin \lambda_{4k}x \, dx = O(\cos \lambda_{3k}b),$$

$$\int_0^b \mu_i^{(4)}(y) \cos \lambda_{2k}y \, dy = O(\sin \lambda_{1k}a), \quad i = 0, a,$$

$$\lambda_{1k} = \sqrt{\frac{\pi^2k^2}{b^2} - c}, \quad \lambda_{2k} = \frac{\pi k}{b}, \quad \lambda_3 = \lambda_{3k} = \sqrt{\frac{\pi^2k^2}{a^2} + c}, \quad \lambda_4 = \lambda_{4k} = \frac{\pi k}{a};$$

$$4) \lambda_{1k}a \neq \pi m, \quad \lambda_{3k}b \neq \pi m, \quad k, m = 1, 2, \dots$$

Тогда существует единственное решение задачи 3.7.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вахания Н.Н. О задаче Дирихле для уравнения колебания струны // Сообщ. АН Груз.ССР. – 1958. – Т. XXI. – №2. – С.131 – 138
2. Нахушев А.М. Критерий единственности задачи Дирихле для уравнения смешанного типа в цилиндрической области // Дифференц. уравнения. – 1970. – Т.6. – №1. – С.190 – 191
3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М., 1966. – 724 с.
4. Cannon J.R. Dirichlet problem for an equation of mixed type with a discontinuous coefficient // Ann. Math pura ad appl. – 1963. – V. 62. – P.371 – 377

5. *Dunninger D.R., Zachmanoglov E.C.* The condition for uniqueness of the Dirichlet problem for hiperbolic equations in cilindrical domains // J. Math. Mech. – 1969. – 18. 8

### ABSTRACT

This work researches into the boundary value problems for the equations of mixed and hyperbolic type. The theorems of existence and uniqueness of Neumann's problem solution and mixed problems for hyperbolic-elliptic and hyperbolic types of equations in the rectangular and cylindrical areas have been proved. The results have been acquired with the use of Fourier's method, methods of energy integrals and Green's function.

### АННОТАЦИЯ

В работе исследуются краевые задачи для уравнений смешанного и гиперболического типа. Доказаны теоремы существования и единственности решения задачи Неймана и смешанных задач для гиперболо-эллиптических и гиперболических типов уравнений в прямоугольных и цилиндрических областях. Результаты работы получены с использованием метода Фурье, методов интегралов энергии и функции Грина.

© Т.И. Дёмина, 2009

## ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СРЕДСТВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

***Каблуков В.И.***  
*(Россия, г. Майкоп)*

Существенным источником загрязнения окружающей среды в Республике Адыгея являются промышленные и твердые бытовые отходы. В настоящее время на территории республики практически нет предприятий, работающих по безотходной технологии. Основным способом обезвреживания и утилизации отходов является их складирование на промплощадках предприятий, захоронение на несанкционированных свалках. При таком способе хранения отходов наибольшему загрязнению токсичными веществами подвергается почва, поверхностные и грунтовые воды и, в конечном итоге, речные системы.

В Республике Адыгея ежегодно образуется более одного миллиона тонн отходов, при незначительной степени их повторного использования (рециклинг) и переработки (менее 30%), в результате чего на территории их накоплено около 15 млн.м<sup>3</sup>. Среди отходов наиболее опасными являются ртутьсодержащие люминесцентные лампы и др., шламы гальванического производства, отработанные кислотно-свинцовые аккумуляторы, концентрированные растворы, содержащие токсичные цветные металлы, нефтесодержащие отходы, отходы электронного лома, содержащие драгоценные и цветные металлы, и др. виды отходов 1 - 3 классов опасности, медицинские отходы. Твердые бытовые отходы (ТБО) образуются в количествах свыше 150 тыс. тонн в год. Для утилизации их на санкционированных свалках они не должны содержать вещества выше 4 – 3 классов опасности.

На кафедре охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, экологического факультета МГТУ, ведутся НИР по разработке малоотходных технологий переработки различных видов отходов средств производства и потребления. Этой проблеме посвящены научные работы профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. По данной тематике в МГТУ ежегодно проводятся Международные научно-практические конференции. Нами получены 4 патента на технологии переработки различных видов отходов, включающие: отходы деревообрабатывающей промышленности, отходы пластмасс (полиэтилентерефталат, поливинилхлорид, полиэтилен, полипропилен).

На территории г. Майкопа и Республики Адыгея в процессе деятельности гальванических цехов предприятий машиностроительного профиля образуются технологические сточные воды, содержащие тяжелые металлы и гальваношламы.

Гальванопроизводство относится к числу наиболее неэкологичных, отличается вредными условиями труда и значительным количеством отходов.

Сточные воды гальванических цехов подразделяются на отработанные растворы и электролиты, малые по объему и высококонцентрированные, и на промывные сточные воды, значительные по объему и малоцентрированные. Коэффициент использования цветных металлов в гальванотехнике составляет

30 – 80%, кислот и щелочей – 5 – 10%, энергоносителей – 70 – 80%. Технологические сточные воды гальванических цехов составляют 30 – 50% общего количества сточных вод промышленных предприятий.

Шламы гальванического производства образуются на предприятиях города Майкопа и Республики Адыгея в результате деятельности гальванических цехов, в процессе обезвреживания отработанных электролитов и промывных сточных вод на очистных сооружениях. Они состоят из гидроксидов железа и токсичных металлов – хрома, меди, цинка и др. в виде нерастворимых соединений. Их количество достигает 20 – 30 т ежегодно. Хромосодержащие гальваношламы относятся ко 2 – 3-му классу опасности и представляют угрозу для окружающей среды.

Текущие и лежалые гальваношламы можно и следует перерабатывать. В зарубежной и отечественной практике накоплен определенный опыт использования гальваношламов при производстве строительных материалов – керамзита, отвержденных блоков, облицовочной плитки и т.д.[1,5,6]. Однако до сих пор остается не выясненным поведение металлов в этих изделиях, в процессе их применения и последствия их воздействия на окружающую среду.

Не рассматривая в деталях эти и другие способы избавления от тяжелых металлов, следует заметить только одно: в конечном счете отказ от вторичного использования извлеченных металлов по прямому назначению приводит к распылению металлов.

По нашему мнению, гальваношламы целесообразно утилизировать в полиметаллы и шлаки, применяя для этих целей гидропирометаллургические методы их переработки. Конечным продуктом процессов переработки являются слитки полиметаллов, используемых в металлургическом производстве и стекловидные шлаки, являющиеся строительным материалом[5].

Следующим опасным видом отходов являются отработанные аккумуляторы, количество которых в г. Майкопе и Республике Адыгея достигает десятки тысяч штук в год. В пересчете на электродный свинец общее количество свинца, может достигать 200 – 250 тонн в год.

Рекомендуемая нами технология переработки включает организованный сбор аккумуляторов, механизированную разборку на составляющие части и их переработку [8]. Решетчатые электроды, свинецсодержащий шлам перерабатывают пирогидрометаллургическими методами, включая восстановительную плавку на свинец и ионообменную



регенерацию электролита. Корпуса аккумуляторов, состоящие из полиэтилена или полипропилена предлагается перерабатывать во вторичный гранулят по заводской технологии с получением крошки термопластичных масс, который используется в качестве добавки (не более 30%) при изготовлении товаров народного потребления, мешков для мусора или упаковочных материалов.

Не менее актуальной в плане неудовлетворительного экологического решения на данный момент – является проблема утилизации отходов медицинских учреждений.

Медицинские металлические отходы по классификации Европейского Союза (ЕС) относятся к опасным (рискованным) отходам здравоохранения [9] (ОРОЗ), к подгруппе колющих, режущих объектов. К ним относятся иглы одноразовых шприцев, вышедшие из строя скальпели, медицинский инструментарий, приборы и другое металлическое оборудование. Оценочное количество металлических медицинских отходов в Республике Адыгея может достигать 40 – 50 тонн в год.

Для эффективной утилизации нами предложен способ переработки ОРОЗ, заключающийся в плавке медицинского лома (иглы, вышедший из строя инструментарий) на металл и получение слитков хромоникелевой стали. Ранее нами проведены испытания по плавке игл и вышедшего из строя инструмента в индукционной печи ИСТ-0,075. Плавка проводилась в набивном кварцевом тигле, при температуре 1500 - 1550°C. В результате был получен сплав легированной хромоникелевой стали, который в дальнейшем может быть использован в металлургическом производстве [9].

Обезвреживание медицинских отходов биологического характера (послеоперационные, патологоанатомические и др.), по мнению авторов, целесообразно проводить методами сжигания в плазменных инцинераторах, при температурах не ниже 3000°C [10]. Использование плазмогенераторов в качестве печей сжигания позволяет резко ускорить реакции разложения и окисления отходов, повышает эффективность обработки, снижает концентрации вредных веществ в отходящих газах и других выбросах.

Особое место среди прочих проблем утилизации металлосодержащих отходов имеет проблема утилизации токсичных ртутьсодержащих отходов.

Ртутьсодержащие отходы относятся к категории отходов, имеющих первый класс опасности и являются одними из наиболее опасных отходов для здоровья человека Согласно данным Государственного доклада Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Республики Адыгея, на территории РА, в сфере потребления образуются отходы, содержащие более 20 тонн ртути. Загрязнение окружающей среды, в основном, происходит за счет отходов потребления, т.е. продукции отслужившей свой срок (ртутные лампы, градусники, приборы и др.). В настоящее время, ртутьсодержащие отходы, частично вывозятся на действующий Краснодарский ртутный рудник, где утилизируются. Часть ртутьсодержащих отходов попадает на свалку в г. Майкоп и др. населенные пункты, что крайне негативно отражается на экологической обстановке. В

связи с этим встает вопрос о необходимости создания Централизованного регионального унитарного предприятия по управлению ртутьсодержащими отходами, их сбору, хранению и демеркуризации, В Российской Федерации разработаны технические решения и внедрены термодемеркуризационные установки, предназначенные для переработки ртутных ламп, градусников, компактных приборов и т.д. К таким установкам относятся УРЛ-2М (стационарный вариант, АПА-100, УДМ-3000), а также мобильный и портативный варианты термодемеркуризационной установки УРЛ-2. Внедрение перечисленных установок, а также централизованное управление, сбор, хранение и переработка ртутьсодержащих отходов позволит уменьшить нагрузку вредных веществ на окружающую среду.

В заключении следует отметить, что отмеченные тенденции по накоплению и усилению отрицательного техногенного воздействия на окружающую среду на примере металлосодержащих гальваношламов, ртутьсодержащих отходов, отработанных аккумуляторов и отходов медицинских учреждений, будут сохраняться и дальше.

Охарактеризованные методы гидропирометаллургической переработки шламов, сорбционной регенерации электролитов, методов сжигания в установках с плазменным нагревом и т.д. в наибольшей степени отвечают современным требованиям; предъявляемым к мало- и безотходным технологиям, переход к которым является основным, стратегическим направлением по защите биосферы от продуктов техногенеза.

На сегодняшний день остро стоит вопрос со сбором и утилизацией полиэтиленовой пленки и пластмассовой тары, которые загрязняют окружающую среду, существенно влияют на ее состояние.

Установлено, что среднее содержание полимеров в составе ТБО составляет 8 - 10%. В структуре образующихся полимерных отходов 38% составляют отходы из полиэтилена, 27% - из ПЭТ, 13% - из ПВХ, 7% - из полистирола, 8% - из полипропилена, 5% - из РТИ и 2 - другие полимеры.

Нами рекомендуется технология переработки вторичных полимеров в строительный тепло- и звукоизоляционный материал.

Отдельным вопросом стоит проблема обезвреживания, утилизации и переработки твердых бытовых отходов (ТБО). Норма накопления ТБО на одного человека в среднем составляет 300 кг в год. ТБО практически полностью вывозятся на несанкционированные свалки, которых на территории республики насчитывается свыше 100. В г. Майкопе свалка ТБО уже давно исчерпала свои ресурсы, переполнена отходами. Отходы зачастую горят. При горении полимеров (ПП, ПЭТ, ПВХ и др.), макулатуры, упаковочных пластиков образуются диоксины и полихлорированные бифенилы, относящиеся к чрезвычайно опасным веществам. В связи с этим остро стоит вопрос о необходимости строительства мусороперерабатывающего завода. Технология переработки ТБО, на наш взгляд, должна включать несколько этапов:

1. Предварительная сортировка ТБО на отдельные ингредиенты (металлы, стекло, пластик, и др.) в мусоросортировочном цехе.

2. Прессование (пакетирование) отсортированных материалов для дальнейшей переработки.

3. Производство компоста из пищевых отходов в качестве удобрения.

Остальная часть отходов после сортировки утилизируется термическим способом (пиролиз) в специальных печах, при температуре не ниже 1200-1500 °С.

Выявленная в ходе проведенного анализа опасная тенденция по накоплению отходов производства и потребления безотлагательно требует создания в ближайшей перспективе регионального Центра по переработке и утилизации вторичных материальных ресурсов. С этой целью могут быть использованы незадействованные мощности существующих предприятий. Это позволит решить не только социально-экологические, но и экономические проблемы в Республике Адыгея.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каблуков, В.И. Отходы производства и потребления – проблемы и решения / В.И. Каблуков // В матер. III республиканской конференции по охране природы. – Майкоп: Качество, 2004. – С. 55 – 60.

2. Каблуков, В.И. Переработка отходов пластмасс в строительный материал / В.И. Каблуков, Р.А. Тороян // Экология и промышленность России. – 2007. - №1. – С. 20 – 21.

3. Каблуков, В.И. Переработка использованных одноразовых шприцев / В.И. Каблуков, А.Ю. Беданок // В матер. I-ой Междунар. научно-практ. конференции «Актуальные проблемы экологии в условиях современного Мира». – Майкоп: МГТИ, 2001.- С. 55 – 57.

4. Каблуков В.И. Эколого-экономические аспекты переработки металлосодержащих твердых бытовых отходов (ТБО) / В.И. Каблуков, А.Ю. Беданок // В матер. IV-ой Всеросс. научно-практ. Конференции студентов, аспирантов, докторов и молодых ученых МГТИ. – Майкоп, 2003. – С. 115 – 116.

5. Каблуков, В.И. Пути и способы утилизации гальваношламов / В.И. Каблуков, В.А. Зубкова // В матер. IV-ой Междунар. научно-практ. конференции «Актуальные проблемы экологии в условиях современного Мира. – Майкоп: МГТИ, 2004. - С. 244 – 245.

6. Зубкова, В.А. Алюмотермическая переработка шламов гальванического производства / В.А. Зубков, В.И. Каблуков // В сб. «Новые технологии». – Майкоп, 2005. – С. 370 – 371.

7. Борсук, О.Ю. Возможность применения новых природных сорбентов в очистке воды / О.Ю. Борсук, В.И. Каблуков // В сб. «Новые технологии» МГТУ. – Майкоп, 2005. – С. 370 – 371.

8. Гик, Л.А. Утилизация отработанных аккумуляторов / Л.А. Гик, В.И. Каблуков // В сб. тезисов и докладов Международной научно-техн. конф. 4. III. – Калининград, 1999. – С. 109 – 110.

9. Гик, Л.А. Утилизация металлических медицинских отходов / Л.А. Гик, В.И. Каблуков // В сб. тезисов и докладов Международной научно-техн. конф. 4. III. – Калининград, 1999. – С. 110 – 111.

10. Басин, А.С. Плазменное уничтожение медицинских отходов / А.С. Басин, М.Ф. Жуков // Муниципальные и промышленные отходы: способы обезвреживания и вторичной переработки. – Новосибирск: СОРАН, 1995. – С. 85 – 105.

### **ABSTRACT**

In the given work the data of formation of production and hard wastes in Adygh Republic are given and technologies of recycling of toxic wastes of production and consumption means.

### **АННОТАЦИЯ**

Рассмотрены различные технологии утилизации и переработки токсичных отходов, таких как ртутьсодержащих, шламы гальванического производства, кислотные свинцовые аккумуляторы, медицинские отходы.

© В.И. Каблуков, 2009

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕТРОМОНИТОРИНГА НА ПЛОЩАДКЕ ПРЕДПОЛАГАЕМОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЕЙСКОЙ ВЭС

*Киселева С.В., Чернявский А.А.*  
(Россия, г. Москва, г. Ростов-на-Дону)

Город Ейск - промышленный и курортный центр, морской порт на берегу Азовского моря. Имея прямой выход к международным морским путям, город Ейск реализует интересы России и Краснодарского края в зоне черноморского и средиземноморского экономического сотрудничества. Социально-экономическое развитие города в последние годы характеризуется динамичным формированием потребительского рынка, активным развитием курортно-гостиничной сферы, усилением роли малого и среднего бизнеса, относительной стабильностью финансовой системы, рынка труда. С целью удешевления электро- и теплоэнергии для потребителей города реализуется инвестиционный проект строительства газопоршневой теплоэлектростанции мощностью 12 МВт, а также рассматривается вопрос создания крупной ветроэлектрической станции мощностью 50...100 МВт.

Система электроснабжения Ейского района Краснодарского края входит в общую систему энергоснабжения потребителей на территории Южного Федерального Округа и составляет часть Объединённой энергосистемой Юга России (ОЭС Юга). Анализ динамики и режимов электропотребления в ОЭС Юга на перспективу до 2030 года, выполненный "Ростовтеплоэлектропроектом» (умеренный вариант прогноза со среднегодовым темпом темпы роста ВВП в России 5...6 %), показывает, что наиболее высокий прирост электропотребления в рассматриваемый период ожидается в строительстве 4,2 ...5,0 % и промышленности 2,8...3,5 % в год.

Значительные темпы роста электропотребления на транспорте (2,2...2,8 % в год) будут обусловлены, в первую очередь, развитием транспортных систем. Это - расширение действующих и строительство новых нефте- и газопроводов, развитие системы Каспийского трубопроводного консорциума, расширение портов в Новороссийске и Туапсе, реконструкция порта в Темрюке, строительство портовых сооружений и терминальных комплексов на Таманском полуострове, работы по электрификации участков железной дороги «Крымская – Анапа – Кавказ».

Рост сельскохозяйственного электропотребления в рассматриваемый период (2,6...3,1 % в год) будет связан с повышением его оснащённости современной техникой для первичной переработки и хранения продукции.

Прогнозируемые темпы роста коммунально-бытового электропотребления в рассматриваемый период составят 0,7...1,1 % в год. Существенное увеличение коммунально-бытового электропотребления, в частности, в Краснодарской энергосистеме обеспечит намечаемое развитие курортно-рекреационного комплекса на Черноморском и Азовском побережьях края, а также в горных районах Республики Адыгея. В результате

при умеренном варианте развития ОЭС Юга потребуется достичь к 2030 году объема производства электроэнергии 133,0 млрд. кВтч, а при оптимистическом варианте – 199,5 млрд. кВтч.

При средней продолжительности использования установленной мощности 5500 ч/год дефицит по электропотреблению в ОЭС Юга для умеренного варианта в 2020 году составит 6,2 млрд. кВтч, а в 2030 году – 44,0 млрд. кВтч. Рассчитанные дефициты могут частично покрываться за счет передачи мощности из соседних ОЭС. Однако развитие экономики в регионах будет приводить к существенному уменьшению избытков мощности в соседних ОЭС. Следует также отметить, что в энергетике ОЭС Юга все более обостряются экологические проблемы и задачи исчерпания легкодоступных запасов органического топлива. Эти проблемы могут быть решены на основе новых технологий и эффективных систем энергосбережения при рассредоточении генерирующих мощностей и приближении их к потребителям электроэнергии. Поэтому обоснованным представляется покрытие дефицита в ОЭС Юга (1) за счет интенсификации развития нетрадиционной энергетики с использованием возобновляемых источников энергии, (2) за счет расширения использования малой энергетики с когенерационными установками на основе газопоршневых и газотурбинных технологий непосредственно у потребителей энергии, а также (3) за счет дополнительного ввода традиционных энергетических мощностей, создание которых на настоящий момент еще не запланировано.

Размещение дополнительных мощностей для покрытия дефицита ОЭС Юга планируется, в первую очередь, в энергосистемах, которые будут оставаться дефицитными на протяжении всего рассматриваемого периода, в том числе в Краснодарской энергосистеме. В соответствии с изложенным предлагаемая к сооружению ветроэлектрическая станция установленной мощностью 50...100 МВт в районе г. Ейска будет обеспечена полной загрузкой по мощности и энергии и внесет существенный вклад в снижение энергодефицита в Краснодарской энергосистеме.

Для подтверждения целесообразности строительства Ейской ВЭС в период 06.12.2007–12.12.2008 г был проведен комплексный ветромониторинг на площадке предполагаемого строительства станции на побережье Ейского лимана Азовского моря. Непосредственными задачами ветромониторинга является получение ветровых характеристик, а именно средних скоростей ветра и их временной динамики, профилей ветра по высоте, повторяемости скоростей ветра и др. Авторами были проведены расчеты и анализ полученных данных, в частности, предполагаемой выработки электроэнергии заданными типами ветроагрегатов (ENERCON E-82; GAMESA G-90; VESTAS V-90, WICOV Wind W2000spg-WT86, WICOV Wind W2000spg-WT92.5). Сравнение полученных оценок с предварительными расчетами позволит достоверно обосновать инвестиции и приступить к разработке рабочего проекта станции.

Система ветромониторинга была установлена на мачтах HiMast класса 1 высотой 70 м (фирма–производитель NexGen, UK) близ населенных пунктов

Краснофлотский, Симоновка и Широчанка. Измерительные мачты находились на расстояниях 5–6 км друг от друга, образуя почти равносторонний треугольник. Наиболее близкая точка к морю – Широчанка, что обуславливает более высокие средние скорости ветра в этой точке. Самая удаленная от моря точка – Симоновка. Все мачты стоят на ровной площадке так же как и метеостанция аэропорта г. Ейска, с данными измерений которого проводилось сравнение результатов ветромониторинга. На мачтах был установлен регистратор данных ветровой энергии Nomad 2. В комплекс измеряемых величин входили: скорость ветра, направление ветра, температура воздуха. Измерения величин проводились на 4 уровнях – 40, 50, 60, 70 м. Характерный временной интервал измерений – 10 мин. Дальнейшая обработка полученных первичных данных осуществлялась с использованием программы NOMAD 2 DESKTOP (Second Wind. Inc.,US). Результаты по среднемесячным скоростям ветра для трех пунктов измерения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Среднемесячные скорости ветра в пунктах проведения  
ветромониторинга (м/с).

Период измерений 01.01.2008 – 13.12.2008 г.

|                | Январь   |     |     |     | Февраль |     |     |     | Март   |     |     |     | Апрель               |     |     |     |
|----------------|----------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|----------------------|-----|-----|-----|
| Высота, м      | 70       | 60  | 50  | 40  | 70      | 60  | 50  | 40  | 70     | 60  | 50  | 40  | 70                   | 60  | 50  | 40  |
| Краснофлотский | 7.9      | 7.5 | 7.3 | 6.8 | 7.9     | 7.4 | 7.1 | 6.5 | 7.6    | 7.2 | 6.9 | 6.5 | 6.7                  | 6.3 | 6.1 | 5.6 |
| Симоновка      | 7.8      | 7.5 | 7.3 | 7.0 | 7.8     | 7.4 | 7.1 | 6.8 | 7.5    | 7.3 | 7.0 | 6.8 | 6.5                  | 6.3 | 6.1 | 5.9 |
| Широчанка      | 7.7      | 7.5 | 7.4 | 6.9 | 7.9     | 7.5 | 7.3 | 6.7 | 7.6    | 7.3 | 7.2 | 6.7 | 6.5                  | 6.2 | 6.1 | 5.8 |
|                | Май      |     |     |     | Июнь    |     |     |     | Июль   |     |     |     | Август               |     |     |     |
| Высота, м      | 70       | 60  | 50  | 40  | 70      | 60  | 50  | 40  | 70     | 60  | 50  | 40  | 70                   | 60  | 50  | 40  |
| Краснофлотский | 6.2      | 5.9 | 5.8 | 5.1 | 6.0     | 5.7 | 5.5 | 4.9 | 6.2    | 5.9 | 5.8 | 5.1 | 6.0                  | 5.7 | 5.5 | 4.9 |
| Симоновка      | 6.2      | 5.9 | 5.8 | 5.5 | 6.0     | 5.8 | 5.7 | 5.3 | 6.2    | 5.9 | 5.8 | 5.5 | 6.0                  | 5.8 | 5.7 | 5.3 |
| Широчанка      | 6.2      | 6.0 | 5.8 | 5.5 | 5.9     | 5.7 | 5.5 | 5.3 | 6.2    | 6.0 | 5.8 | 5.5 | 5.9                  | 5.7 | 5.5 | 5.3 |
|                | Сентябрь |     |     |     | Октябрь |     |     |     | Ноябрь |     |     |     | Декабрь <sup>1</sup> |     |     |     |
| Высота, м      | 70       | 60  | 50  | 40  | 70      | 60  | 50  | 40  | 70     | 60  | 50  | 40  | 70                   | 60  | 50  | 40  |
| Краснофлотский | 6.3      | 6.0 | 5.9 | 5.4 | 5.7     | 5.5 | 5.2 | 4.8 | 6.6    | 6.3 | 6.1 | 5.6 | 5.7                  | 5.4 | 5.2 | 4.8 |
| Симоновка      | 6.3      | 6.0 | 5.9 | 5.6 | 5.7     | 5.5 | 5.3 | 5.1 | 6.5    | 6.3 | 6.2 | 5.9 | 5.7                  | 5.3 | 5.2 | 4.9 |
| Широчанка      | 6.2      | 6.0 | 5.9 | 5.6 | 5.6     | 5.4 | 5.3 | 5.1 | 6.5    | 6.3 | 6.1 | 5.8 | 5,5                  | 5,2 | 5,1 | 5,0 |

Для обработки и анализа результатов использовались также данные измерений скорости ветра, полученные на метеообсерватории аэропорта г. Ейска в тот же период. Аэропорт находится на небольшом удалении от площадки ВЭС, причем ландшафт в целом имеет абсолютно плоский, степной характер. Кроме того, доступными были данные Северокавказского гидрометцентра (СК ГМЦ) о ветровом режиме в районе г. Ейска, осредненные за период 1992–2006 гг. (высота измерений в обоих случаях составляла 16,5 м). На рис. 1 показан годовой ход скоростей ветра на

<sup>1</sup> Неполные данные; длительность ветромониторинга в декабре 2008 г. с 01.12.2008 до 13.12.2008 г.

высотах измерения в п. Краснофлотский (вследствие неполноты данных измерений результаты обработки за декабрь 2008 г. не включены в графический материал). Видно, что вариации скорости практически синхронны на высотах 40, 50, 60, 70 м. Там же приведены среднемесячные значения скоростей ветра по результатам измерений СК ГМЦ по г.Ейску. Для этих данных характерно некоторое сходство с сезонным ходом скоростей ветра, полученным при ветромониторинге, в частности, наличие летнего минимума. Однако многолетние данные СК ГМЦ не отражают высокочастотные колебания сезонного хода скоростей ветра на пунктах измерения

Динамика среднемесячной скорости ветра в п.Краснофлотский (2008 г.)

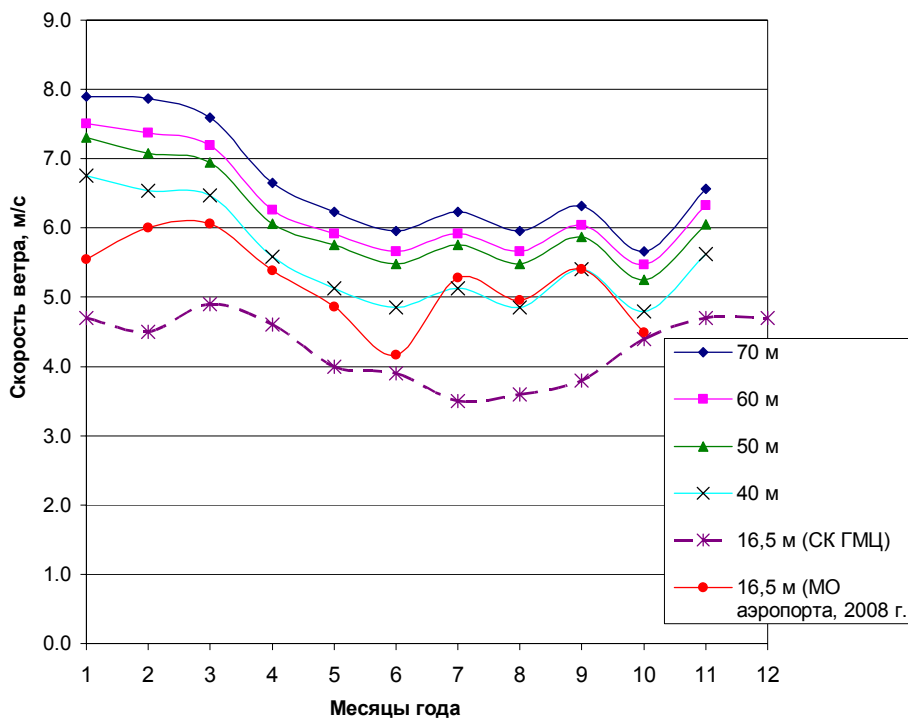


Рис.1. Сезонный ход среднемесячных скоростей ветра по данным ветромониторинга на различных высотах, данным МО аэропорта г.Ейска (2008 г.) и среднемноголетним данным СК ГМЦ.

Поскольку важнейшим вопросом для оценки ветропотенциала является получение достоверных данных о характеристиках ветра на уровне ветроколеса, дальнейшие расчеты и оценки были посвящены определению характеристик профилей скорости ветра. Для каждого месяца были рассчитаны средние значения скорости ветра на высотах измерений и проведены аппроксимации профилей ветра над поверхностью земли. Для современных ветроэнергоустановок (ВЭУ) мегаваттного класса с высотами башен 80–100 м необходимо учитывать нелинейность высотного профиля скорости в приземном 100-метровом слое, поэтому для расчетов используются либо степенная, либо логарифмическая зависимости. При



обработке результатов ветромониторинга были предложены две методики расчетов. В первом случае для представления профилей ветра по высоте в виде  $V(z) = V_0 \cdot \ln(z/z_0)$  и  $V(z)/V(z_1) = (z/z_1)^m$  использовались только данные ветромониторинга. Во второй методике в качестве фактической основы использовались помимо данных ветромониторинга (на высотах 70, 60, 50 и 40 м.) также текущие (2008 г.) измерения, проводимые на метеообсерватории аэропорта г. Ейска на высоте 16,5 м. Далее, при расчете показателя  $m$  рассматривали два варианта: с учетом затеняющих объектов высотой  $h_0=6$  м в районе аэропорта и без учета затенений (т.е. при  $h_0=0$ ). Поскольку измерения, производимые в Ейском аэропорту, осуществляются только в дневные часы (с 8 до 16 ч московского времени), для перехода к среднесуточным значениям скоростей ветра, были введены поправочные коэффициенты  $k$ . Эти коэффициенты рассчитывались по многолетним данным срочных наблюдений СК ГМЦ как отношения средней скорости ветра в дневной период к среднесуточной скорости ветра за соответствующий месяц. Расчетный диапазон высот измерения были принят 16,5...130 м, т.к. в настоящее время достаточно распространены ветроагрегаты с высотой башен 130 м. Результаты расчетов скоростей ветра на высоте 100 м по различным методам существенно расходятся только для п. Краснофлотский (разница значений скоростей ветра не более 1 м/с); для Симоновки и Широчанки аппроксимации дают практически идентичные результаты.

Для обоснования использования данных годового ветромониторинга было также проведено сопоставление результатов аппроксимаций текущих измерений на высоту 16,5 м с многолетними метеорологическими наблюдениями. На рис. 2 приведены аппроксимации среднемесячных скоростей ветра на высоте 100 м ( $V(100)$ ) и на высоте 16.5 м ( $V(16.5)$ ) для пункта ветромониторинга Симоновка. Первая аппроксимация является важной для дальнейших оценок ветропотенциала, а вторая позволяет провести сравнение полученных данных с результатами измерений на метеообсерватории аэропорта г. Ейска, которая находится в 15-18 км от площадок ветромониторинга, и многолетними данными Северокавказского гидрометцентра. Следует учитывать, что параметры скоростей ветра, получаемые на МО аэропорта г. Ейска, округлены с точностью  $\pm 1$  м/с. Поэтому можно считать, что в пределах указанной погрешности построенные аппроксимации и данные реальных измерений на высоте 16.5 м совпадают. Таким образом, результаты проведенного годового ветромониторинга соответствуют общему характеру вариаций среднемесячных скоростей ветра по данным многолетних измерений, а расчетные значения (аппроксимации) на высотах флюгерных измерений в пределах погрешности количественно совпадают с данными метеообсерватории. Это дает определенное обоснование прогнозных оценок ветропотенциала по результатам краткосрочного ветромониторинга и доказывает возможность использования при расчетах ветропотенциала на площадке строительства ВЭС многолетних данных СК ГМЦ.

Расчетные и экспериментальные значения скоростей ветра на высотах 100 м и 16,5 м (Симоновка)

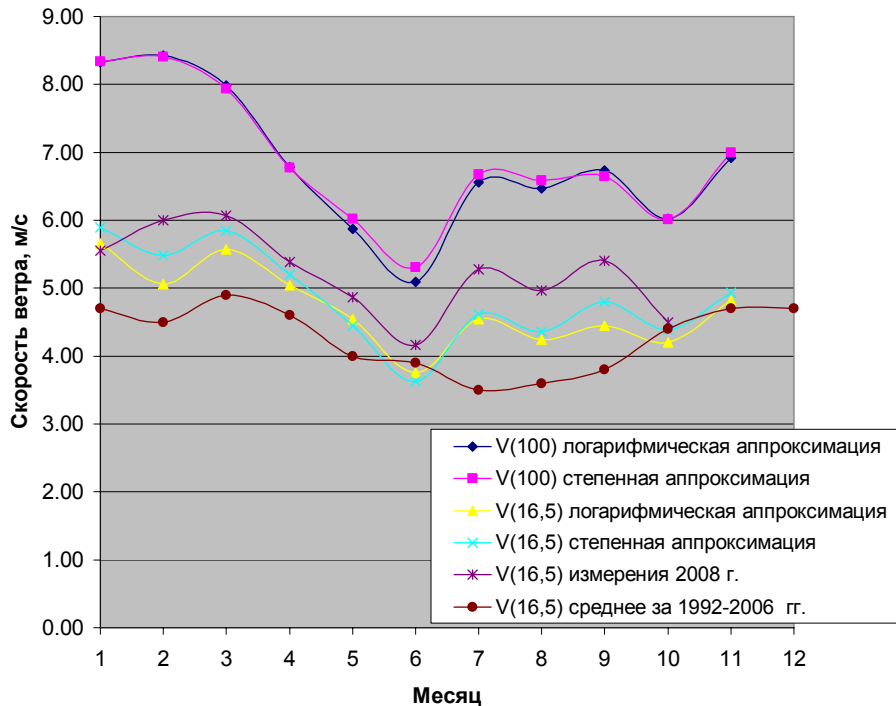


Рис. 2. Годовой ход среднемесячных скоростей ветра на высотах 100 и 16.5 м: аппроксимации и натурные данные (Симоновка).

На основании полученных результатов и сравнений были проведены расчеты выработки энергии для заданных типов ветроагрегатов на высоте ветроколеса 100 м. Здесь также расчеты проводились по двум методикам: 1) на основе подъема эмпирической повторяемости скоростей ветра на заданную высоту [1]; 2) с использованием коэффициентов увеличения скоростей ветра с высотой. Были получены как среднемесячные, так и годовые оценки выработки электрической энергии. За год в целом они составили (для ветроагрегата Enercon E-82 мощностью 2 МВт): Краснофлотский – 5600 ÷ 6800 МВтч, Симоновка – 5500 ÷ 6000 МВтч, Широчанка – 5500 ÷ 6200 МВтч. При этом в течение года выработка возрастала от минимума в летние месяцы (июнь, п.Симоновка – 200 ÷ 220 МВтч) до максимума зимой (январь, п. Симоновка – 720 ÷ 780 МВтч), что отражает внутригодовые изменения скорости ветра. Полагая среднее значение годовой выработки равное (Симоновка) 5700 МВтч электроэнергии и прогнозную установленную мощность ВЭУ 50 МВт, можно оценить общую годовую производительность станции в 142 500 МВтч. Таким образом, в среднем за год Ейская ВЭС может обеспечить около 80% потребляемой в городе электроэнергии. Однако, учитывая неравномерность выработки электроэнергии в течение года, можно говорить о перспективности полного электроснабжения города от Ейской ВЭС только в

зимний период и о необходимости более полного использования в летний период гелиоэнергетических ресурсов, потенциал которых значителен в этом регионе.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И. – М.: Изд. «АТМОГРАФ», 2007. 596 с.

## **ABSTRACT**

The report is devoted to results of wind resource assessment in the Eysk-region, where major wind energy project in Russia (central-grid windfarm 50...100 MWt capacity) is proposed to build. The precise determination of the wind resource at a given site is one of the most important aspects in the development of a wind energy project as the available wind resource at the project site can dramatically impact the cost of wind energy production. Owing to great importance of this factors it is typically recommended that take at least a full year of wind measurements at the exact location where the wind energy project is going to be installed. So the task of the Eysk-wind monitoring was determination of average wind speed on the measurement altitudes and the dynamics of this parameters, wind-profile, wind speed distribution (probability density function), the average wind speed approximation at hub height, electricity generation etc.

There were considered and discussed the different task solution methods and approaches.

## **АННОТАЦИЯ**

В докладе представлены результаты исследования эффективности создаваемой крупнейшей на сегодня в России сетевой ветроэлектростанции установленной мощностью 50...100МВт в районе курортно-промышленного г. Ейска Краснодарского края.

Создание ветровой электростанции позволит существенно повысить надежность и качество электроснабжения потребителей без ухудшения экологической обстановки. Экономическая эффективность данного проекта будет зависеть от параметров ветровой активности, оптимального выбора площадки и генерирующего оборудования для создания ВЭС, годовой выработки электроэнергии, условий подключения ВЭС к электрической сети и ряда других факторов. Поэтому принятие окончательного решения об инвестициях в строительство ВЭС требует детальной проработки проекта и, в первую очередь, уточнения энергетических показателей будущей электростанции. В докладе представлены результаты ветромониторинга, проводимого с целью подтверждения целесообразности строительства ВЭС

на Ейской площадке. Задачей ветромониторинга было определение средних скоростей ветра и их временной динамики, профилей ветра, повторяемости скоростей ветра для определения реального ветропотенциала. Важным компонентом выполняемой работы является отработка методик расчета ветропотенциала на высотах, отличных от высот прямых измерений. В докладе представляются и обсуждаются различные подходы к решению этой задачи.

© С.В. Киселева,  
А.А. Чернявский, 2009

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

*Кориневич Л.А.*  
(Россия, г. Майкоп)

Геологическая позиция территории Республики Адыгея определяется ее положением на стыке двух крупных геологических структур: Северо-Кавказского краевого массива и Предкавказского передового прогиба. Они составляют южный край Скифской плиты, вовлеченной в процессы тектономагматической активизации.

Район имеет двухъярусное строение - кристаллический фундамент и гетерогенный осадочный чехол.

В строении фундамента принимают участие сложнодислоцированные метаморфические и вулканогенно-осадочные комплексы (формации) протерозоя, нижнего и среднего палеозоя, интрузивные породы гранит - гранодиаритовой формации, красно - и сероцветной молассы карбона и перми и карбонатных отложений верхней перми. Кристаллические породы фундамента приурочены к сводной части горст-антиклинория Главного хребта в виде выступов, образуя в южной части территории ряд массивов: Даховский, Шибабинский, Сахрайский, Тхачский и др.

Чехол сложен комплексом осадочных пород от триасового до неогенового возраста включительно. Породы чехла сложно дислоцированы в зоне новейшего орогенеза, в результате которого сформировался Азово-Кубанский прогиб.

Осадочный чехол сложен морскими терригенными и нижнемолассовыми формациями пород альпийского цикла от верхнего палеозоя до неогена. В основании чехла залегают отложения терригенно-карбонатной и рифогенной формации триаса, которые пользуются локальным развитием в южной части территории. Вышележащие комплексы осадочного чехла характеризуются более широким площадным распространением. Нижне-среднеюрские песчано-алевритовые отложения залегают несогласно на всех более древних породах. Они с размывом перекрываются рифогенными известняками, доломитами и галогенной толщей верхней юры, выше которой залегают карбонатные, песчано-алевритовые терригенно-глауконитовые и фосфоритоносные формации пород от нижнего мела до сармата включительно. Эти комплексы пород слагают Северо-Кавказскую моноклираль, которая характеризуется выдержанным залеганием с падением на северо-восток под углами 3-8°.

В западной части территории вскрыт разрез осадочного чехла до глубин 3-4,5 км, в восточной части – до 5,0 м. Самая глубокая скважина, пробуренная на территории Республики Адыгея, Кошехабльская 15 (5700м).

На тектонической схеме территории республики и ее обрамления выделяются такие крупные структурные элементы, как Восточно-Кубанская впадина, Адыгейский выступ, Западно-Кубанский прогиб.

Восточно-Кубанская впадина по поверхности палеозойского фундамента представляет собой крупную глубокую депрессионную структуру, генезис и развитие которой в значительной степени связаны с наличием системы разломов. Южным и юго-западным ограничением впадины являются Гиагинский разлом и Адыгейский выступ.

Адыгейский выступ представляет собой крупный, относительно стабильный тектонический элемент, заложенный в докембрийско-раннемезозойское время на южной окраине Скифской плиты.

В юго-западной части региона Адыгейский выступ через Цицинский разлом сочленяется с Убинско-Черниговской зоной, соответствующей, так называемой, Хадыженской кордельере. Гиагинский разлом ограничивает Адыгейский выступ Майкопско-Косиновским приподнятым блоком и Кужорским опущенным блоком.

Сочленение Скифской плиты и мегантиклинория Большого Кавказа происходит по Черкесскому глубинному разлому.

Особенности геологического строения и развития территории республики предопределили повышенную степень напряженности глубинного теплового режима и тем самым высокие потенциальные возможности практического использования геотермальной энергии. **Значения тепловых потоков** из недр Земли в пределах Республики Адыгея колеблются от 40 до 85 мВт/м<sup>2</sup>. На большей центральной части территории, относящейся к платформенной части Западного Предкавказья, **значения тепловых потоков** составляют 60-85 мВт/м<sup>2</sup>, лишь в западной части республики, которая располагается в пределах Западно-Кубанского передового прогиба, величины тепловых потоков понижаются до своих минимальных значений.

В разрезе осадочного чехла республики в соответствии с литологическим составом пород устанавливаются более чем четырехкратные изменения коэффициентов теплопроводности. Минимальной теплопроводностью - 1-1,9 Вт/м.град, характеризуются майкопские, в основном, глинистые отложения. Перекрывающий их песчано-глинистый комплекс плиоцена и миоцена обладает повышенной теплопроводностью от 1,8 - 3,0 Вт/м.град, а в подстилающих отложениях происходит постепенное увеличение теплопроводности вниз по разрезу: от 1,5- 3,0 Вт/м.град в эоцен - палеоценовых до 2,0-4,0 Вт/м.град в мезозойских породах.

Значения геотермических градиентов пород осадочного чехла на территории Республики Адыгея, также как и их теплопроводность, в значительной степени определяются их литологическим составом. Для триасовых отложений в южной части республики значения градиентов составляют 2,5-2,8°C/100 м, комплекс пород нижней и средней юры характеризуется значениями от 2,31 до 2,94°C/100 м. Вскрытые разрезы верхнеюрских отложений обогащены породами высокой теплопроводности (соли, гипсы, песчаники, известняки), поэтому их геотермические градиенты минимальны: 1,47-1,7 °C/100 м.

В вышележащих стратиграфических комплексах пониженные геотермические градиенты (1,75-2,5 °С/100 м) отмечены для меловых и палеоцен-эоценовых отложений, представленных переслаиванием песков, песчаников, алевролитов, известняков и глин. Более высокие градиенты (4,0-7,0°С/100 м) характерны для майкопских и миоценовых отложений в разрезе, в которых доминируют породы пониженной теплопроводности.

Повышенные значения глубинных тепловых потоков, обусловленные особенностями геологического строения и развития территории Республики Адыгея, в сочетании с изменением мощностей литолого-стратиграфических комплексов различной теплопроводности предопределили высокотемпературный характер недр этой территории. Значения температур на глубине 1000 м изменяются от 40 до 60°С, на 3000 м - от 100 до 140°С, на 5000 м - от 140 до 175°С.

Пониженные температурные условия на 20-40°С по сравнению с центральной частью Адыгеи на территории Западно-Кубанского прогиба, в западных районах Республики

Высокотемпературные условия недр значительной части территории Республики Адыгея являются существенным аргументом при положительной оценке перспектив использования глубинного тепла Земли. Достаточно отметить, что в пределах большей части республики глубины залегания горных пород с температурой 100°С составляют 1900-2400 м при общей мощности осадочного чехла от 4-5 до 8 км и значениях температур в нижней части его 140-220°С. Немаловажен тот факт, что в этом температурном диапазоне содержатся довольно мощные и регионально выдержанные проницаемые горные породы.

Но при этом следует отметить, что специальных исследований на теплоэнергетические воды на территории республики не проводилось. Изучение термоводоносных горизонтов осуществлялось в процессе бурения скважин на нефть и газ. В этой связи необходимо сказать, что на территории республики выявлено и, в разной степени исследовано, около 40 площадей, представляющих собой разного типа ловушки нефти и газа. На большинстве из них проводилось структурное, поисковое и разведочное бурение. Открыто 9 месторождений углеводородного сырья.

Гидрогеологические особенности и характеристика термоводоносных комплексов перспективных отложений разреза Республики Адыгея изучены в целом недостаточно. Основное внимание в процессе поисков залежей нефти и газа уделялось отложениям нижнего мела, содержащим скопления углеводородов и термальных вод.

На территории республики установлены и в разной степени изучены:

- термальные воды отложений миоцена;
- термальные воды палеогеновых отложений;
- термальные воды верхнемеловых отложений;
- термальные воды нижнемеловых отложений;
- термальные воды верхнеюрского водоносного горизонта;
- термоводоносный комплекс нижней и средней юры;

- термоводоносный комплекс отложений триаса.

Имеющаяся информация исследований по изучению особенностей и геотермических условий недр Республики Адыгея показывает, что они обладают значительными потенциальными ресурсами термальных вод. Открытые к настоящему времени месторождения термальных вод, проявления термальных вод на разбуренных площадях свидетельствуют, что по самым скромным оценкам почти 50 % территории Адыгеи перспективны на термальные воды. Горячие воды здесь, как правило, получают самоизливом и с достаточными для практического использования дебитами.

На основе систематизированных и обобщенных сведений о геотермальном режиме недр, гидрогеологических условиях, свойствах и проявлениях термальных вод на рассматриваемой территории, выделены четыре перспективных на термальные воды района (рис. 1) :

Первый перспективный район (I) занимает около 70% территории Республики Адыгея. Район включает Адыгейский выступ, юго-восточный борт Восточно-Кубанской впадины, юго-восточное замыкание Западно-Кубанского прогиба.

Высокотемпературные (на выходе 60-100°C), высоконапорные (избыточные давления до 2 МПа), высокодебитные (до 1000 м<sup>3</sup>/сут.) термальные воды приурочены, в основном, к отложениям нижнемелового возраста, залегающими на глубинах от 1700 до 4900 м. Минерализация термальных вод изменяется в широких пределах: от первых граммов на литр до 10-20 г/л и более, увеличиваясь с глубиной.

Термальные воды месторождений этого района (Лабинское, Мостовское, Вознесенское, Южно-Вознесенское) и на территории Республики Адыгея (Майкопское в п. Тульский) используются как источники тепловой энергии и для целей бальнеологии.

Второй перспективный район (II) занимает около 15% территории в северной части Республики Адыгея. Этот район охватывает центральную часть и северный борт Восточно-Кубанской впадины, южный склон Каневско-Березанского вала. Термальные воды связаны с отложениями нижнемелового и палеоцен-эоценового возраста, залегают на глубинах 2300-3200 метров.

Дебиты отложений палеоцен-эоцена колеблются от 320 м<sup>3</sup>/сут. (пл. Некрасовская) до 740 м<sup>3</sup>/сут. (площадь Темиргоевская). Температура на устье составляет, в основном, 80-90°C, избыточные напоры 0,3-0,5 МПа, минерализация изменяется от 15 г/л до 50 г/л. В районе площадей Усть-Лабинская, Ладожская, Великая и прилегающей к ним северной части территории Республики Адыгея, перспективны на термальные воды отложения караган-чокрака и хадума, залегающие на сравнительно небольших глубинах (1000-1900 м).

Третий район распространения термальных вод (III) охватывает примерно 15% западной части Республики Адыгея, располагаясь на территории Западно-Кубанского прогиба. Среднетемпературные (30-50 °C), слабонапорные (избыточные давления 0,1-0,2 реже 0,5 МПа) среднедебитные



воды приурочены к отложениям карагана, чокрака, сармата. Теплые воды (температура на выходе до 30 °С) установлены в отложениях понта. Глубина залегания перспективных отложений составляет 2000-3800 метров.

Особенностью термальных вод этого района является их высокая минерализация (от 20 г/л до 70 г/л и выше) и высокие концентрации йода и брома.

Четвертый перспективный район (IV) распространения термальных вод расположен на северном склоне Северо-Западного Кавказа, примыкая к смежным частям южного борта Западно-Кубанского прогиба, южного склона Адыгейского выступа, южного борта Восточно-Кубанской впадины. В Республике Адыгея район занимает около 5 % ее южной части. В пределах района расположено Безводненское месторождение.

Термальные воды в этом районе вскрыты на площадях Ставропольской, Мирная Балка, Победа, Самурская.

Высокотемпературные (на выходе 50-100°С) с дебитами от 100 м<sup>3</sup>/сут. до 720 м<sup>3</sup>/сут. (пл. Ставропольская) напорные воды (коэффициент аномальности 1,64-1,74 на площади Ставропольская; 1,3 - Самурская; 1,4 - Победа) приурочены к отложениям нижнего мела, верхней юры. Глубина залегания перспективных отложений изменяется от 2000 м до 3200 м. Широк диапазон изменения минерализации термальных вод (от 1 г/л до 50 г/л).

Район слабо изучен, термальные и лечебные воды используются мало (Курджипским, Абадзехским водозаборами) [1].

Имеющаяся информация о возможностях практического использования термальных вод свидетельствует о наибольшей перспективности термальных вод первого района.

Общеизвестно, что практическое использование термальных вод эффективно там, где имеются высокие гидростатические напоры, и потенциальные запасы пластовой энергии позволяют получать термальную воду фонтанным способом длительное время. Следует учитывать также величину минерализации, обуславливающую коррозионную активность термальных вод.

Для первого перспективного района (I) характерны высокие напоры, низкая минерализация, а, следовательно, и соответствующая коррозионная активность, высокая температура на выходе из скважины.

Потенциальные возможности фонтанного способа добычи термальных вод второго (II) и третьего (III) перспективных районов меньше, но значительные величины минерализации и коррозионная агрессивность вод снижают перспективы их широкого практического использования.

Четвертый перспективный район (IV) распространения термальных вод по сравнению с другими наименее изучен, в том числе и на территории Адыгеи, что требует проведения комплекса гидрогеологических исследований в новых скважинах.

По Республике Адыгея Государственным балансом запасов учтены 2 месторождения термальных вод: Майкопское и Ходзевское.

**Майкопское месторождение термальных вод** расположено на территории Майкопского района Республики Адыгея, в 10 км южнее г. Майкопа. При проведении геологоразведочных работ к эксплуатации принимались водоносные комплексы с наименьшей минерализацией и агрессивностью термальных вод, а также обладающие наибольшим тепловым потенциалом.

Разведка месторождения производилась в период 1971-1984 г.г. Северо-Кавказским управлением разведочного бурения НПО «Союзбургеотермия». В результате выполненных геологоразведочных работ на Майкопской площади создан термоводозабор из 12 разведочно-эксплуатационных скважин, которыми вскрыт разрез мезо-кайнозойских отложений до верхней юры включительно. Эксплуатируемые на Майкопском месторождении термоводоносные пласты песчаников приурочены к готерив-барремской нерасчлененной толще и к аптскому ярусу нижнего мела, залегающих на глубинах от 1200 до 1700 м. Воды высокотермальные, температура воды на устье скважин составляет 73-86°C, общая минерализация изменяется от 2,2 до 10 г/л. Воды по химическому составу хлоридно-натриевые. Содержание фенолов более 0,2 мг/л.

Эксплуатационные запасы теплоэнергетических вод утверждены в объеме 4,98 тыс. м<sup>3</sup>/сутки. Среднегодовая добыча теплоэнергетических вод на месторождении составляет 750 – 850 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Месторождение разрабатывается с 1976 года, в настоящее время лицензией на право пользования недрами обладает ОАО Северо-Кавказская энергетическая компания «Нефтегазгеотерм».

**Ходзевское месторождение теплоэнергетических вод** охватывает южную часть Кошехабльского района вблизи аула Ходзь.

Месторождение открыто в 1980 году. Разведочными работами до 1988 года, было доказано, что запасы теплоэнергетических вод по категории А+В+С1 равны 1,5 тыс. м<sup>3</sup>/сутки при круглогодичном отборе.

Месторождение вскрыто двумя скважинами.

Скважина 1-Т расположена на территории а. Ходзь Кошехабльского района Республики Адыгея. Скважина пройдена на глубину 2450 м. Вскрыт разрез мезо-кайнозойских отложений до верхней юры включительно. Основным эксплуатационным объектом является альбский водоносный горизонт нижнемелового водоносного комплекса. В интервале 1940-1990 м. из него получен промышленный приток термальной воды дебитом 1370 м<sup>3</sup>/сутки, с температурой на устье 86 °С. Минерализация воды 2,3 г/л. Вода по составу гидрокарбонатно-хлоридно-натриевая, содержание фенолов более 0,2 мг/л.

Скважина 2-Т находится на северо-востоке от ст. Засовская Мостовского района Краснодарского края. Скважина пройдена на глубину 2064 м. В скважине, согласно предписанию Госгеоконтроля от 06.12.1982г. № 07/8451, вскрытие и опробование альбского горизонта запрещено по причине возможного влияния скважины на Мостовское месторождение. Вскрыты и опробованы аптские отложения в интервале 1890-1990 м. На

свободном изливе получен приток термальной воды дебитом 210 м<sup>3</sup>/сутки, с температурой на устье 54,5°С. Минерализация воды 2,8 г/л. Состав воды - хлоридно-гидрокарбонатный-натриевый. Месторождение не эксплуатируется, составляет нераспределенный фонд.

К северной границе МО «Город Майкоп» примыкает **Майкопское** нижнемеловое газоконденсатное месторождение, которое находится в завершающей стадии отработки. Остаточные запасы газа по состоянию на 1.01.2009г. составляют 50 млн.м<sup>3</sup>. Всего утвержденные запасы по месторождению составляли: газа- по категориям А+В+С<sub>1</sub>- 86796 млн. м<sup>3</sup>, по категории С<sub>2</sub> -2667 млн.м<sup>3</sup>; конденсата- по категориям А+В+С<sub>1</sub>- 5553 тыс. тонн, по категории С<sub>2</sub> -170 тыс.тонн.

Все запасы месторождения связаны с мощной песчано-глинистой толщей нижнего мела (апт-альб), где выделяется пять самостоятельных залежей, приуроченных к I, Ia, II, IIa и III горизонтам, объединенных в три эксплуатационных объекта.

На Майкопском месторождении пробурено 144 разведочных и эксплуатационных скважин, из которых в эксплуатации осталось 7 скважин.

Пластовое давление превышает гидростатическое на 12%. Режим месторождения упруго-водонапорный. Пластовая температура нижнемеловых отложений 110-123 °С, минерализация вод 16 г/л, дебиты при опробовании превышают 200 м<sup>3</sup>/сутки. При обводнении эксплуатационных скважин необходимо рассмотреть вопрос о возможности их использования как геотермальных.

Сдерживающим фактором использования запасов геотермальных вод является применение устаревших технологий теплоснабжения хозяйственных объектов и проблема утилизации отработанных подземных вод, содержащих фенол и другие вредные компоненты. Подземные воды с высокой минерализацией не подлежат после отработки сбросу в поверхностные водоемы, а пресные подземные воды с высоким температурным фактором имеют крайне ограниченное распространение.

Для широкого промышленного использования геотермальных вод одним из необходимых условий является обратная закачка отработанных вод в эксплуатационные пласты. Такая разработка обеспечит надежную охрану окружающей среды, так как захоронение использованных минерализованных вод исключает загрязнение поверхностных водоемов и почвенного покрова. Вместе с тем важной особенностью применения метода обратной закачки является постоянное поддержание пластовых давлений, что значительно продлевает срок фонтанной эксплуатации скважин, восполняет ресурсы термальных вод в призабойных зонах действующих скважин, восстанавливает запасы в целом по разрабатываемому месторождению.

Имеются сведения о проведении в 1982-1984 годах кратковременных закачек отработанных вод в разведочно-эксплуатационные скважины на Ульяновской (скв.№№ 3-Т, 4-Т), Ходзевской (скв.№№ 1-Т, 2-Т) Грязнореченской (скв.№ 1-Т), Отраденской (скв. № 1-Т), Межчохракской площадях. Непосредственно на Адыгейском выступе кратковременное

нагнетание в 1983-1984 годах выполнено на Майкопской (скв. № 1-Т) и Ново-Ярославской (скв. №№ 1-Т, 2-Т, 4-Т, 5-Т) площадях. Проведенные работы на перечисленных площадях не дали положительных результатов, так как не была достигнута заданная приемистость промышленного значения. При этом отмечалось ограниченное количество проведенных гидроразрывов пласта и невысокое качество работ, а также отсутствие химобработки закачиваемой воды [2].

Научные исследования в этом направлении на территории Республики Адыгея больше не проводились и научно-техническое обоснование и методика работ применительно к местным геологическим условиям разработаны не были. Это обстоятельство задержало развитие использования глубинного тепла Земли на территории республики. Но в настоящее время существует достаточный отечественный и зарубежный опыт использования метода обратной закачки при эксплуатации месторождений теплоэнергетических вод.

Вопрос дальнейшего освоения и практического использования геотермальных ресурсов должен решаться в условиях государственной поддержки и заинтересованности субъектов Российской Федерации в использовании теплоэнергетических вод на конкретных объектах хозяйственной деятельности.

Так анализ геотермических условий на территории, прилегающей к городу Майкопу (рис. № 3), определяет возможность использования теплоэнергетических вод для теплоснабжения коммунальных и промышленных объектов города.

По предварительным расчетам, произведенным ОАО Северо-Кавказская энергетическая компания «Нефтегазгеотерм», предполагаемая схема использования теплоэнергетических вод: 10 геотермальных ячеек по контуру города Майкопа. Одна такая ячейка состоит из двух наклонных скважин - водозаборной и нагнетательной, пробуренных кустом с одной площадки. Между устьями скважин минимальное расстояние до 15 м. Забой скважин разнесены в плане на расстояние 1200 -1500 м. Фильтровая часть эксплуатационной колонны вскрывает продуктивный горизонт под острым углом или вообще параллельно кровле и подошве пласта, чтобы увеличить длину фильтровой части для увеличения коэффициента продуктивности и приемистости. Также возможны гидроразрыв пласта и глинокислотные обработки призабойных зон. Ожидаемые дебиты - 1500-2000 м<sup>3</sup>/сут. Количество тепловой энергии от одной ячейки 82-110 Гкал/сут. Ожидаемая приемистость нагнетательных скважин (после проведения соответствующих мероприятий) 50-100 м<sup>3</sup>/сут. ат.

Вопросы геологического изучения недр, бурения и испытания скважин термоводозабора, а также обустройства площадок для размещения необходимого оборудования, решаются в рамках лицензии на недропользование.

Приложения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Митин Н.Е., Матвиенко В.Н. Карта распространения термальных вод (пояснительная записка). АО «Термнефть», 1994.
2. Чередеев И.В., Максименко М.Я. Отчет «Гидрогеология термальных вод Адыгейского выступа». ПО «Кубаньгазпром», 1987.

## ABSTRACT

These deposits possess considerable reserves of thermal waters. According to the most modest calculations about 50% of the territory of Adygheya has good prospects of thermal waters. Hot waters, as a rule, are obtained by self-pouring with decent debits.

Thermal waters are used mostly to heat a greenhouse complex. The use of thermal waters for municipal services is rather problematic with the existing method of exploitation and because of its remoteness from the housing and communal services.

## АННОТАЦИЯ

Имеющаяся информация исследований по изучению особенностей и геотермических условий недр Республики Адыгея показывает, что они обладают значительными потенциальными ресурсами термальных вод. Открытые к настоящему времени месторождения термальных вод, проявления термальных вод на разбуренных площадях свидетельствуют, что по самым скромным оценкам почти 50 % территории Адыгеи перспективны на термальные воды. Горячие воды здесь, как правило, получают самоизливом и с достаточными для практического использования дебитами.

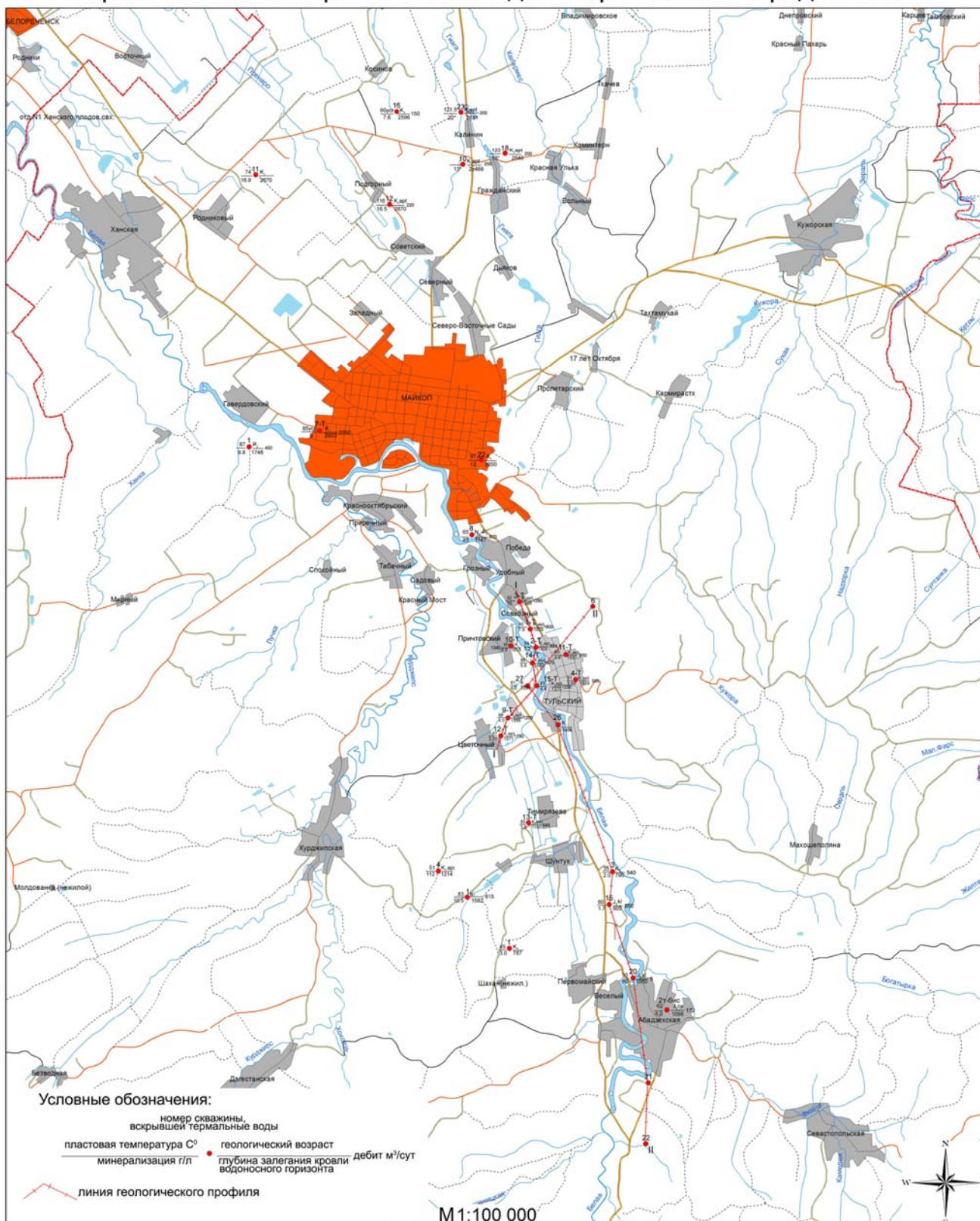
Для широкого промышленного использования геотермальных вод одним из необходимых условий является обратная закачка отработанных вод в эксплуатационные пласты. Такая разработка обеспечит надежную охрану окружающей среды, так как захоронение использованных минерализованных вод исключает загрязнение поверхностных водоемов и почвенного покрова. Вместе с тем важной особенностью применения метода обратной закачки является постоянное поддержание пластовых давлений, что значительно продлевает срок фонтанной эксплуатации скважин, восполняет ресурсы термальных вод в призабойных зонах действующих скважин, восстанавливает запасы в целом по разрабатываемому месторождению.

© Л.А. Кориневич, 2009





## Схема расположения скважин, вскрывших теплоэнергетические воды в окрестностях города Майкоп





## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ИНТРОДУЦЕНТОВ В ОЗДОРОВЛЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Кулова Д.Д., Кучинская Е.А.*  
(Россия, г. Майкоп)

Зеленые насаждения считаются надежной и проверенной защитой от загрязнения воздуха, их справедливо называют “легкими города”. Конечно, зеленые насаждения и украшают город, но прежде всего они играют важную роль в деле оздоровления окружающей среды. Леса, парки, сады, бульвары и скверы воздействуют на состав атмосферного воздуха. Во время вегетационного сезона их растительность обогащает воздух кислородом и поглощает углекислый газ. С каждого гектара, занятого деревьями, выделяется в год до 30 кг полезных для человека эфирных масел. 1 га деревьев и кустарников только за один час поглощает весь углекислый газ, выделяемый за это время 200 людьми. В зеленых массивах каждое дерево поглощает в среднем за год 30-40 кг пыли и других твердых частиц, а дерево с богатой лиственной кроной до 68 кг. Одно дерево средней величины за сутки восстанавливает столько свободного кислорода, сколько необходимо для дыхания трех человек. Деревья очищают воздух от выхлопных газов. Каждое взрослое дерево ежегодно поглощает такой объем отработанных газов автомобилей, который выделяется за 25 тысяч км пробега [3].

Зеленые массивы благотворно влияют на микроклимат. Особенно четко это ощущается в пределах больших массивов зелени. Летом в лесах и парках заметно прохладнее. Температура воздуха среди насаждений в самую жаркую погоду на 10-12 градусов ниже, чем в районах городской застройки. В парках на 15-30 % выше влажность, что приводит к снижению температуры воздуха, создает эффект физиологического комфорта для человека. Над наиболее крупными зелеными массивами в пределах города летом устанавливаются нисходящие токи воздуха. Они увлекают за собой пыль из атмосферы и осаждают ее на кронах деревьев и кустарников. 1 га деревьев хвойных пород задерживает за год 40 тонн пыли, а лиственные - около 100 тонн [2].

Однако в последние 10-15 лет в городах России расширение площади под озелененными территориями происходит медленнее, чем растет численность населения городов, в результате обеспеченность зелеными насаждениями общего пользования несколько снижается. Зеленые насаждения подвергаются также интенсивным воздействиям техногенных и антропогенных нагрузок. Значительное негативное воздействие на растительность лесов и парков оказывает автотранспорт. Для того чтобы уберечь растения от подобных воздействий следует включать в озеленительный ассортимент растения, устойчивые к экстремальным условиям городской среды, так как за относительно высокими количественными характеристиками озеленения зачастую теряются качественные характеристики [1; 2].

Наиболее ответственным моментом при озеленении промышленного города является подбор газоустойчивого ассортимента древесных растений [9]. Анализ литературных источников показал, что многими авторами газоустойчивость растений отождествляется с их устойчивостью к воздействию сернистого ангидрида [10; 7; 12]. Учитывая это, нами проведено исследование устойчивости древесных растений к экспериментальному воздействию указанного фитотоксиканта.

Для постановки опытов были отобраны виды древесных интродуцентов, отнесённые по предварительным исследованиям к перспективным для введения в озеленение населённых мест Республики Адыгея. Заключение о перспективности выносилось на основе визуальных наблюдений по методике Главного ботанического сада РАН. На газоустойчивость исследованы 134 видов древесных растений (28 - голосеменных и 105 - покрытосеменных), среди которых как местные, так и интродуценты. Для проведения экспериментов была использована модель фумигационной камеры. Испытания газоустойчивости растений сводились к искусственной обработке их сернистым ангидридом в герметичной полиэтиленовой камере (продолжительность - 10 ч., концентрация  $SO_2 = 0,5$  мг/л) с последующей оценкой их абсолютной повреждаемости в процентах поврежденной листовой площади [6; 4; 10; 11]. Повреждаемость листьев при фумигации оценивалась по трехбалльной шкале Ю.З. Кулагина [7]: слабая повреждаемость (ожоги не превышают 10% поверхности листьев) – 3 балла; средняя повреждаемость (ожоги находятся в пределах 10-40 %) – 2 балла; сильная повреждаемость (ожоги составляют более 40 %) – 1 балл.

Анализ данных, полученных при определении абсолютной повреждаемости растений сернистым ангидридом, показал, что испытанные растения проявили различную устойчивость к фитотоксиканту. Полученные результаты приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Повреждаемость древесных растений в % от общей площади листьев (группа слабой повреждаемости)

| № п/п        | Название вида       | Повреждаемость $M \pm m$ , % |
|--------------|---------------------|------------------------------|
| 1            | 2                   | 3                            |
| Голосеменные |                     |                              |
| 1.           | Кипарис лузитанский | $4,6 \pm 0,3$                |
| 2.           | Туя западная        | $5,2 \pm 1,8$                |
| 3.           | Туя складчатая      | $5,8 \pm 0,6$                |
| 4.           | Ель колючая         | $8,6 \pm 0,6$                |

|                 |                              |           |
|-----------------|------------------------------|-----------|
| 5.              | Кипарис голый                | 9,8 ± 0,7 |
| Покрытосеменные |                              |           |
| 6.              | Гледичия трехколючковая      | 3,4±0,54  |
| 7.              | Секуринага полукустарниковая | 4,1±0,20  |
| 8.              | Форзиция промежуточная       | 5,3±0,24  |
| 9.              | Ликвидамбр стираксовый       | 5,4±0,51  |
| 10.             | Сирень венгерская            | 5,8±0,28  |
| 11.             | Калина гордовина             | 6,5±0,25  |
| 12.             | Каркас южный                 | 6,8±0,33  |
| 13.             | Снежнаягодник белый          | 7,1±0,25  |
| 14.             | Форзиция свисающая           | 7,5±0,22  |
| 15.             | Ясень ланцетный, зеленый     | 7,6±0,12  |
| 16.             | Клен ясенелистный, негундо   | 7,6±0,14  |
| 17.             | Магнолия Кобус               | 8,5±0,62  |
| 18.             | Робиния ложноакация          | 9,4±0,38  |
| 19.             | Лох серебристый              | 9,6±0,92  |
| 20.             | Клен сахаристый, серебристый | 9,8±0,52  |

Наиболее устойчивыми к фитотоксиканту среди голосеменных оказались туя западная (5,2% поверхности поврежденной хвои), т. складчатая (5,8%), ель колючая (8,6%), кипарис лузитанский (4,6%), к. голый (9,8%); среди покрытосеменных слабая повреждаемость наблюдалась у 14% испытанных видов, в том числе гледичия трехколючковая (3,4 % повреждения листовой пластинки), секуринага полукустарниковая (4,1%), ликвидамбр смолоносный (5,4 %), сирень венгерская (5,8%), калина гордовина (6,5%), снежнаягодник белый (7,1%), ясень зеленый (7,6 %), клен ясенелистный (7,5 %), магнолия Кобус (8,5 %), и др.

Таблица 2. Повреждаемость древесных растений в % от общей площади листьев (группа средней повреждаемости)

| № п/п        | Название вида        | Повреждаемость М±m, % |
|--------------|----------------------|-----------------------|
| 1            | 2                    | 3                     |
| Голосеменные |                      |                       |
| 1.           | Можжевельник средний | 11,0 ± 0,6            |

|                 |                              |             |
|-----------------|------------------------------|-------------|
| 2.              | Можжевельник сибирский       | 11,8 ± 0,9  |
| 3.              | Можжевельник китайский       | 12,4 ± 0,8  |
| 4.              | Можжевельник обыкновенный    | 15,2 ± 0,8  |
| 5.              | Гинкго двулопастный          | 15,4 ± 0,7  |
| 6.              | Можжевельник высокий         | 15,4 ± 0,8  |
| 7.              | Можжевельник казацкий        | 15,6 ± 0,9  |
| 8.              | Можжевельник скальный        | 18,5 ± 1,4  |
| 9.              | Кипарисовик Лавсона          | 20,2 ± 1,0  |
| 10.             | Плосковеточник восточный     | 20,2 ± 1,8  |
| 11.             | Тис ягодный                  | 20,4 ± 1,6  |
| 12.             | Можжевельник виргинский      | 20,8 ± 1,4  |
| 13.             | Можжевельник вонючий         | 21,8 ± 1,3  |
| 14.             | Сосна горная                 | 22,6 ± 1,1  |
| 15.             | Псевдотсуга Мензиса          | 28,2 ± 1,1  |
| 16.             | Сосна паласская              | 30,2 ± 2,3  |
| 17.             | Кипарисовик горохоплодный    | 30,6 ± 2,1  |
| 18.             | Пихта Нордмана               | 35,2 ± 1,8  |
| 19.             | Сосна погребальная           | 35,2 ± 1,8  |
| 20.             | Ель восточная                | 35,8 ± 1,2  |
| 21.             | Сосна желтая                 | 37,2 ± 1,4  |
| Покрытосеменные |                              |             |
| 22.             | Маклюра оранжевая            | 10,4 ± 0,53 |
| 23.             | Рябина мучнистая             | 10,6 ± 0,38 |
| 24.             | Айлант высочайший            | 12,3 ± 0,82 |
| 25.             | Катальпа бигнониевидная      | 12,6 ± 0,82 |
| 26.             | Лох узколистный              | 12,9 ± 0,64 |
| 27.             | Катальпа великолепная        | 13,4 ± 0,64 |
| 28.             | Кудrania трехзубчатая        | 13,5 ± 0,60 |
| 29.             | Ясень цветочный              | 13,8 ± 0,65 |
| 30.             | Боярышник перистонадрезанный | 13,8 ± 1,42 |
| 31.             | Лимонник китайский           | 15,0 ± 0,65 |
| 32.             | Робиния клейкая              | 15,2 ± 0,60 |

|     |                                     |           |
|-----|-------------------------------------|-----------|
| 33. | Яблоня ягодная                      | 15,9±0,62 |
| 34. | Бересклет европейский               | 15,9±0,74 |
| 35. | Боярышник зеленомясый               | 15,9±0,71 |
| 36. | Гортензия древовидная               | 15,9±0,75 |
| 37. | Карагана древовидная, желтая акация | 15,9±0,92 |
| 38. | Церцис европейский                  | 16,1±0,81 |
| 39. | Магнолия крупноцветковая            | 16,5±0,64 |
| 40. | Береза тополелистная                | 16,5±0,52 |
| 41. | Магония падуболистная               | 16,6±0,54 |
| 42. | Зизифус ююба, унаби                 | 16,7±0,83 |
| 43. | Клен Бюргера                        | 17,2±0,80 |
| 44. | Вейгела цветущая                    | 17,3±0,78 |
| 45. | Боярышник мягковатый                | 17,4±0,82 |
| 46. | Птелея трехлистная                  | 17,5±0,57 |
| 47. | Клен татарский, неклен, черноклен   | 17,6±0,56 |
| 48. | Спирея березолистная                | 17,7±0,82 |
| 49. | Рябина глоговина, берека            | 18,2±0,81 |
| 50. | Скумпия кожевенная                  | 18,2±0,49 |
| 51. | Павловния войлочная                 | 18,2±0,32 |
| 52. | Магнолия Суланжа                    | 18,8±0,36 |
| 53. | Калина канадская                    | 18,9±0,73 |
| 54. | Спирея кантонская                   | 19,0±0,62 |
| 55. | Жимолость обыкновенная              | 19,2±0,15 |
| 56. | Альбиция ленкоранская               | 19,5±0,73 |
| 57. | Стифнолобиум японский               | 19,7±0,24 |
| 58. | Чубушник тонколистный               | 19,7±0,72 |
| 59. | Бузина красная                      | 19,7±0,29 |
| 60. | Ирга ольхолистная                   | 21,6±0,76 |
| 61. | Вишня войлочная                     | 21,6±1,11 |
| 62. | Платан кленолистный                 | 22,4±1,05 |
| 63. | Платан восточный                    | 22,5±0,63 |
| 64. | Клен гиннала, приречный             | 23,6±1,14 |

|     |                             |           |
|-----|-----------------------------|-----------|
| 65. | Черемуха поздняя            | 23,8±1,14 |
| 66. | Хеномелес Маулея            | 24,8±1,21 |
| 67. | Ива матсудана, змеевидная   | 25,9±1,30 |
| 68. | Каштан посевной             | 26,2±1,25 |
| 69. | Ива остролистная            | 28,2±1,35 |
| 70. | Чубушник кавказский         | 28,7±1,62 |
| 71. | Тополь белый                | 29,8±1,45 |
| 72. | Дерен белый                 | 30,4±1,03 |
| 73. | Церцис китайский            | 30,4±1,01 |
| 74. | Черемуха виргинская         | 30,6±0,89 |
| 75. | Бундук канадский            | 31,4±1,58 |
| 76. | Калина морщинистая          | 31,7±1,44 |
| 77. | Хеномелес японский          | 32,1±1,27 |
| 78. | Жимолость кавказская        | 32,1±1,56 |
| 79. | Керия японская              | 32,5±1,19 |
| 80. | Спирея японская             | 32,6±1,40 |
| 81. | Тополь бальзамический       | 32,8±1,33 |
| 82. | Дейция шершавая             | 33,2±1,28 |
| 83. | Бузина черная               | 33,4±1,23 |
| 84. | Пузыреплодник калинолистный | 33,6±2,15 |
| 85. | Будлея Давида               | 33,8±2,33 |
| 86. | Сумах оленерогий            | 34,1±1,71 |
| 87. | Клен ложнозибольдов         | 35,5±1,62 |
| 88. | Бархат амурский             | 37,2±0,79 |
| 89. | Конский каштан мясокрасный  | 37,7±1,01 |
| 90. | Орех сердцевидный           | 39,1±0,38 |

Средняя повреждаемость отмечена у можжевельников (11,0 – 21,8%), гинкго двулопастного (15,4%), плоскочеточника восточного (20,2%), кипарисовиков (20,2 – 30,6%), тиса ягодного (20,4), некоторых сосен (с. горная – 22,6%, с. паласская – 30,2%, с. желтая – 37,2%) и др.. Средняя повреждаемость отмечена также у 65% видов покрытосеменных, из них айлант высочайший (12,3%), гортензия древовидная (15,9%), карагана

древовидная (15,9%), клен Бюргера (17, 2%) альбиция ленкоранская (19,5%), ива матсудана (25,9%) и многие другие высокодекоративные растения.

Таблица 3. Повреждаемость древесных растений в % от общей площади листьев (группа сильной повреждаемости)

| № п/п           | Название вида                | Повреждаемость $M \pm m$ , % |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| 1               | 2                            | 3                            |
| Голосеменные    |                              |                              |
| 1.              | Сосна Коха                   | 41,6 ± 1,4                   |
| 2.              | Сосна черная                 | 44,0 ± 1,9                   |
| 3.              | Ель обыкновенная             | 52,2 ± 3,5                   |
| Покрытосеменные |                              |                              |
| 4.              | Каликант цветущий            | 45,1 ± 4,29                  |
| 5.              | Дейция изящная               | 52,2 ± 1,77                  |
| 6.              | Эвкоммия вязолистная         | 54,7 ± 2,23                  |
| 7.              | Орех маньчжурский            | 55,3 ± 2,24                  |
| 8.              | Кизильник черноплодный       | 56,3 ± 2,30                  |
| 9.              | Кельрейтерия метельчатая     | 62,3 ± 1,84                  |
| 10.             | Экзохорда Альберта           | 65,3 ± 2,58                  |
| 11.             | Клен дланевидный, веерный    | 65,8 ± 2,03                  |
| 12.             | Барбарис амурский            | 66,4 ± 1,89                  |
| 13.             | Клен моно, мелколистный      | 67,5 ± 3,23                  |
| 14.             | Лагерстремия индийская       | 67,8 ± 2,35                  |
| 15.             | Лириодендрон тюльпанный      | 69,3 ± 1,03                  |
| 16.             | Арония черноплодная          | 69,5 ± 2,15                  |
| 17.             | Курильский чай кустарниковый | 70,8 ± 2,64                  |
| 18.             | Лжеайва китайская            | 71,1 ± 2,72                  |
| 19.             | Конский каштан обыкновенный  | 71,2 ± 3,58                  |
| 20.             | Жимолость душистая           | 71,6 ± 2,86                  |
| 21.             | Хурма восточная              | 73,4 ± 2,46                  |
| 22.             | Жимолость татарская          | 75,0 ± 1,45                  |
| 23.             | Жимолость Маака              | 78,2 ± 0,49                  |

|     |                         |           |
|-----|-------------------------|-----------|
| 24. | Кизильник цельнокрайний | 85,1±3,22 |
|-----|-------------------------|-----------|

Как наиболее чувствительные из голосеменных отмечены ель обыкновенная (52,2% повреждений площади хвои), сосна Коха (41,6%), сосна черная (44,0%), среди покрытосеменных это клен дланевидный (65,8% повреждений листовой пластинки), лагерстремия индийская (67,8%), лжеайва китайская (71,1%), жимолость Маака (78,2%), кельрейтерия метельчатая (62,3%) и др.

Таким образом, при подборе древесных интродуцентов для оздоровления городской среды следует учитывать газоустойчивость растений. Данное условие является необходимым для сохранения растениями в условиях промышленного города своей эстетической и декоративной ценности. На основе полученных данных для целей озеленения нами рекомендованы следующие высокодекоративные газоустойчивые виды древесных интродуцентов.

Голосеменные: ель колючая, кипарис голый, к. лузитанский, можжевельник высокий, м. китайский, м. сибирский, м. скальный, м. средний, туя западная, т. складчатая, гинкго двулопастный, кипарисовик горохоплодный, к. Лавсона, можжевельник виргинский, м. вонючий, м. обыкновенный, плоскоцветочник восточный, псевдотсуга Мензиса, сосна горная, с. паласская, с. погребальная, тис ягодный;

Покрытосеменные: айлант высочайший, альбиция ленкоранская, береза тополелистная, бересклет европейский, боярышник зеленомясый, б. мягковатый, б. перистонадрезанный, бузина красная, вейгела цветущая, вишня войлочная, гледичия трехколочковая, гортензия древовидная, дейция шершавая, жимолость обыкновенная, зизифус ююба, ива матсудана, ирга ольхолистная, калина канадская, к. морщинистая, карагана древовидная, каркас южный, катальпа бигнониевидная, к. великолепная, клен Бюргера, к. гиннала, к. сахаристый, к. ясенелистный, кудрания трехзубчатая, ликвидамбр стираксовый, лимонник китайский, лох серебристый, магнолия Кобус, м. крупноцветковая, м. Суланжа, магония падуболистная, маклюра оранжевая, павлония войлочная, платан восточный, п. кленолистный; птелея трехлистная, робиния клейкая, р. ложноакация; рябина глоговина, р. мучнистая, секуринага полукустарниковая, сирень венгерская, снежноягодник белый, спирея березолистная, с. кантонская; стифнолобиум японский, форзиция промежуточная, ф. свисающая, хеномелес Маулея, х. японский, церцис европейский, ц. китайский, черемуха поздняя, чубушник тонколистный, яблоня ягодная, ясень зеленый, я. цветочный.

Следует также отметить, что целесообразно ограничено использовать в озеленении и высокочувствительные к фитотоксиканту древесные растения, так как это свойство позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов атмосферных загрязнений.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Горышина, Т.К. Растение в городе / Т.К. Горышина. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. - 152 с.
2. Древесные насаждения в оптимизации техногенной и рекреационной среды // А.К. Поляков, И.Е. Малюгин, В.П. Тарабрин, В.В. Королев – К.: Наук. думка, 1992. – 171 с.
3. Зарубин, Г.П. Гигиена города / Г.П. Зарубин, Ю.В. Новиков. – М.: Медицина, 1986. – 272 с.
4. Илькун, Г.М. Газоустойчивость растений / Г.М. Илькун. – Киев:Наук. думка, 1971. - 146 с.
5. Колотова, Е.В. Рекреационное ресурсоведение / Е.В. Колотова. – М.: Советский спорт, 1998. – 136 с.
6. Красинский, Н.П. Теоретические основы построения ассортиментов газоустойчивых растений / Н.П. Красинский // Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые сорта. – Горький, 1950. – С. 9 – 109.
7. Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1980. – 115 с.
8. Кулагин, Ю.З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование среды / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1985. – 115 с.
9. Кулова, Д.Д. К вопросу о газоустойчивости древесных интродуцентов, перспективных для озеленения населённых мест Республики Адыгея / Д.Д. Кулова, Е.А. Кучинская // Материалы третьей научно-практической конференции студентов, аспирантов, докторантов и молодых ученых «Наука – 21 веку». – Майкоп: Изд-во МГТУ, 2003. – С. 68 – 70.
10. Николаевский, В.С. Растительность и промышленное загрязнение атмосферы / В.С. Николаевский // Бережь природу Прикамья. – Пермь, 1971, вып. 1. – С. 32 – 35.
11. Николаевский, В.С. Некоторые итоги исследования газоустойчивости растений / В.С. Николаевский // Учен. зап. Пермск. ун-та, 1973. – №281. – вып.1. – С. 183 – 188.
12. Чернышенко, О.В. Поглощительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города / О.В. Чернышенко. – М. : Изд-во МГУЛ, 2002. – 120 с.

## ABSTRACT

The improvement of a condition of an environment in industrial cities is closely connected to their gardening. At a choice of plants for protection of an environment against industrial emissions and fulfilled exhaust gases it is necessary to take into account stability to gases, their ability to absorption of harmful substances, detention of a dust undesirable by effects at pollution of an atmosphere.

## АННОТАЦИЯ

Улучшение состояния окружающей среды в промышленных городах тесно связано с их озеленением. При выборе растений для защиты окружающей среды от промышленных выбросов и отработанных выхлопных газов необходимо учитывать газоустойчивость, поглотительные, пылеадсорбирующие способности растений и нежелательные побочные эффекты при загрязнении атмосферы.

© Д.Д. Кулова,  
Е.А. Кучинская, 2009

# ОЦЕНКА ФОНОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ЧЕРНОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

*Лебедев С.А.*  
(Россия, г. Москва)

## Введение

Уровень загрязнения Черного и Каспийского морей в совокупности определяет состояние его экосистемы и изменяется в различных пространственно-временных масштабах под действием климатических, физико-географических факторов, гидробиологических процессов и антропогенного воздействия, которое усиливается с каждым годом.

По статистике до 1985 года, в Мировом океане 2% нефтяного загрязнения приходится на добычу нефти на шельфе; 9% – на естественные источники, 13% – на атмосферные осадки; 46% – на бытовые и промышленные сточные воды (включая растворенные нефтяные углеводороды (НУ), приносимые со стоком рек) и 30% – на транспортировку и внештатные ситуации [1]. В настоящее время доля загрязнений НУ, приходящаяся на транспортировку, сократилась до 24%, а доля, приходящаяся на бытовые и промышленные сточные воды, возросла до 50% [2] (табл. 1).

Для средиземных и внутренних морей, какими являются Черное и Каспийское море соответственно, доля этих источников должна быть совершенно другой. Согласно данным таблице 2, которая составлена по многочисленным источникам [3-6], доля загрязнения НУ, приходящаяся на транспортировку и внештатные ситуации сильно занижена для обоих морей. По Черному морю осуществляется экспорт 23% всего российского «черного золота», 74% казахстанского и 65% нефтяного экспорта Азербайджана. Из Новороссийска на танкерах ежегодно уходит около 60 млн тонн нефти, из Туапсе – около 30 млн тонн, из порта Кавказ (вблизи которого произошла катастрофа в ноябре 2007 г.) – 3 млн тонн. Всего через порты Черного моря проходит более 138 млн тонн нефти и нефтепродуктов. После ввода в строй первой очереди нефтепровода Каспийского трубопроводного консорциума объем транспортируемой нефти по итогам 2007 года увеличился более чем на 32 млн тонн нефти. Таким образом, Черное море превратилось в зону основного российского нефтяного экспорта.

По статистике от 0.1 до 0.5% транспортируемой нефти [2] выбрасывается в океан в результате практики сброса промывочных и балластных вод в открытое море. Учитывая этот фактор, при общем объеме транспортировки нефти по Черному морю в 170 млн тонн в год величина объем нефтепродуктов поступающих в виде нефтяных пятен в 100 тонн в год (см. табл. 2) скорее всего занижен в 10–100 раз.

**Таблица 1.** Оценки основных источников загрязнения нефтяными углеводородами морской среды (тыс. тонн в год и %).

| Источники загрязнения                                                                              | Мировой океан   |               |                 |               | Черное море   |               | Каспийское море |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
|                                                                                                    | 1985            |               | 2007            |               | тыс. т/год    | %             | тыс. т/год      | %             |
|                                                                                                    | тыс. т/год      | %             | тыс. т/год      | %             |               |               |                 |               |
| Бытовые и промышленные сточные воды (включая растворенные нефтепродукты, приносимые со стоком рек) | 1 080,00        | 46,35         | 1 175,00        | 49,98         | 127,37        | 99,85         | 121,35          | 86,51         |
| Транспортировка и внештатные ситуации                                                              | 700,00          | 30,04         | 564,00          | 23,99         | 0,14          | 0,11          | 0,10            | 0,07          |
| Добыча нефти на шельфе                                                                             | 50,00           | 2,15          | 47,00           | 2,00          | –             | –             | 1,23            | 0,88          |
| Атмосферные осадки                                                                                 | 300,00          | 12,88         | 306,00          | 13,02         | 0,05          | 0,04          | 0,35            | 0,25          |
| Естественные источники                                                                             | 200,00          | 8,58          | 259,00          | 11,02         | –             | –             | 17,25           | 12,30         |
| <b>Общее количество</b>                                                                            | <b>2 330,00</b> | <b>100,00</b> | <b>2 351,00</b> | <b>100,00</b> | <b>127,56</b> | <b>100,00</b> | <b>140,28</b>   | <b>100,00</b> |

**Таблица 2.** Основные источники загрязнения нефтяными углеводородами Черного и Каспийского морей (тонн в год).

| Источники загрязнения                        | Черное море       |                 | Каспийское море    |           |
|----------------------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|-----------|
| <b>Хозяйственно-бытовые стоки</b>            | <b>30 016.30</b>  |                 | <b>19 453.27</b>   |           |
| Россия                                       |                   |                 | Россия             | 3 246.77  |
| Украина                                      | 21 215.90         |                 | Азербайджан        | 9 408.37  |
| Румыния                                      | 3 144.10          |                 | Казахстан          | 228.13    |
| Болгария                                     | 5 649.00          |                 | Туркменистан       | –         |
| Турция                                       | 7.30              |                 | Иран               | 6 570.00  |
| Грузия                                       | –                 |                 |                    |           |
| <b>Промышленные стоки</b>                    | <b>15 379.86</b>  |                 | <b>26 941.00</b>   |           |
| Россия                                       |                   | 52.78           | Россия             | 1 262.00  |
| Украина                                      | 10 441.00         |                 | Азербайджан        | 4 244.00  |
| Румыния                                      | 4 052.50          |                 | Казахстан          | 16 060.00 |
| Болгария                                     | 2.72              |                 | Туркменистан       | 5 372.00  |
| Турция                                       | 752.86            |                 | Иран               | 3.00      |
| Грузия                                       | 78.00             |                 |                    |           |
| <b>Добыча нефти на шельфе</b>                |                   |                 | <b>1 231.00</b>    |           |
| Россия                                       | –                 |                 | Россия             | –         |
| Украина                                      | –                 |                 | Азербайджан        | 1 191.00  |
| Румыния                                      | –                 |                 | Казахстан          | –         |
| Болгария                                     | –                 |                 | Туркменистан       | 40.00     |
| Турция                                       | –                 |                 | Иран               | –         |
| Грузия                                       | –                 |                 |                    |           |
| <b>Ливневые стоки</b>                        | <b>9 369.20</b>   |                 |                    |           |
| Россия                                       |                   | 4 200.00        | Россия             | –         |
| Украина                                      |                   | 5 169.20        | Азербайджан        | –         |
| Болгария                                     |                   | –               | Казахстан          | –         |
| Румыния                                      |                   | –               | Туркменистан       | –         |
| Турция                                       |                   | –               | Иран               | –         |
| Грузия                                       |                   | –               |                    |           |
| <b>Речной сток</b>                           | <b>71 067.20</b>  |                 | <b>74 957.00</b>   |           |
| Россия                                       |                   | 165.70          | Россия             |           |
| Украина                                      |                   | 1 473.00        | <i>Волга</i>       | 71 180.00 |
|                                              | <i>Днепр</i>      | 15 000.00       | <i>Терек</i>       | 740.00    |
| Болгария                                     |                   | 1 000.00        | <i>Сулак</i>       | 450.00    |
| Румыния                                      |                   |                 | <i>Самур</i>       | 270.00    |
|                                              | <i>Дунай</i>      | 53 300.00       | Азербайджан        | 35.00     |
| Турция                                       |                   | –               | <i>Кура</i>        | 840.00    |
| Грузия                                       |                   |                 | Казахстан          | 170.00    |
|                                              | <i>Ингури</i>     | 63.3            | <i>Урал</i>        | 810.00    |
|                                              | <i>Риони</i>      | 65.2            | Туркменистан       | 210.00    |
|                                              |                   |                 | Иран               | 252.00    |
| <b>Естественные источники</b>                |                   |                 | <b>17 250.00</b>   |           |
| <b>Водообмен</b>                             |                   |                 |                    |           |
|                                              | с Азовским морем  | <b>1 537.70</b> | с Кара-Богаз-Голом | –         |
|                                              | с Мраморным морем | –               |                    |           |
| <b>Транспортировка и внештатные ситуации</b> | <b>136.00</b>     |                 | <b>100.00</b>      |           |
| <b>Атмосферные осадки</b>                    | <b>46.00</b>      |                 | <b>350.00</b>      |           |
| <b>Общее количество</b>                      | <b>127 552.26</b> |                 | <b>140 282.27</b>  |           |

Возможные нефтяные ресурсы Каспия, по различным оценкам колеблются от 16 млрд тонн до 20,5 млрд тонн. Лидером по объему добычи нефти и доказанным ее запасам является Казахстан. Второе и третье место по добычи нефти занимают Азербайджан и Туркменистан. Иран добычу углеводородного сырья на Каспии пока не ведет. Данные по добыче нефти прикаспийскими государствами за 2004–2005 годы и прогноз объемов ее добычи к 2010 году (без учета Ирана) представлены в таблице 3.

**Таблица 3.** Добыча нефти на шельфах Каспия (в млн.тонн в год) [6].

| <b>Страны</b> | <b>2004</b>   | <b>2005</b>   | <b>2010 (прогноз)</b> |
|---------------|---------------|---------------|-----------------------|
| Россия        | Не добывалось | Не добывалось | 30,0                  |
| Казахстан     | Не добывалось | Не добывалось | 150,0                 |
| Туркменистан  | 0,64          | 1,1           | 20,0                  |
| Азербайджан   | 15,50         | 20,0          | 50,0                  |
| <b>Итого</b>  | <b>16,14</b>  | <b>21,1</b>   | <b>250,0</b>          |

Согласно общепринятым расчетам, на каждый миллион тонн добытой в мире нефти приходится в среднем 131.4 тонны потерь при добыче [2]. Исходя из этого, доля загрязнения при добыче должна составлять в настоящее время около 2.5 тыс. тонн в год. Сравнивая полученные значения с данными, приведенными в таблице 2, видно, что эти показатели занижены более чем в 2 раза. Это относится и к доле транспортировке (обнаруженные нефтяные пятна) и внештатных ситуаций, так как в настоящее время в Каспийском море танкеры ежегодно перевозят от 12 до 14 млн. тонн нефти.

Таким образом, данные, представленные в таблице 2, по величинам основных источников загрязнения НУ Черного и Каспийского морей можно считать лишь оценочными. Скорее всего, они занижены в несколько раз.

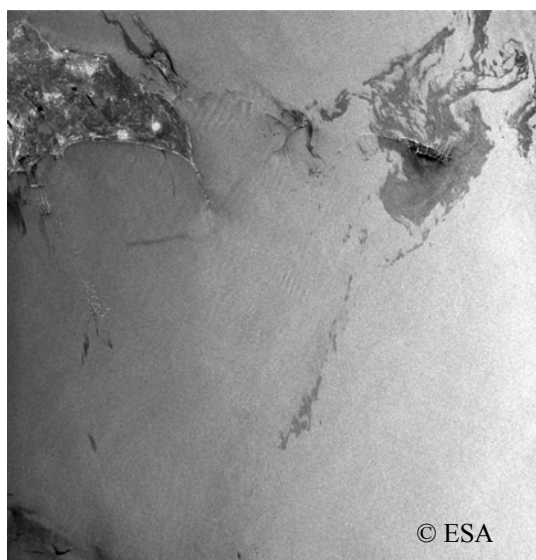
### **Спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения**

В настоящее время не вызывает сомнений необходимость создания систем мониторинга загрязнения НУ [7] акваторий как Черного и Каспийского морей, так и всех морей России.

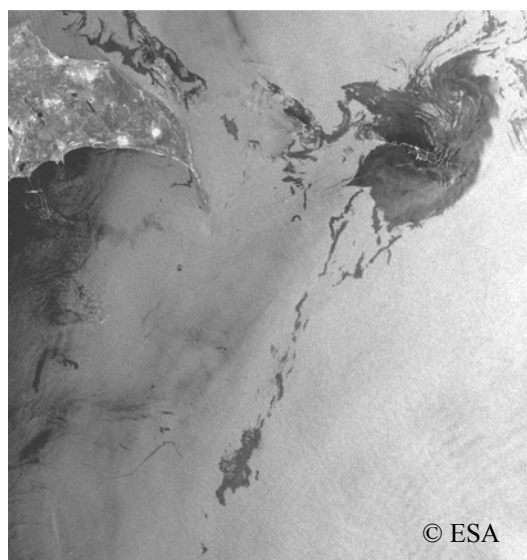
Современная космическая радиолокационная съемка является наиболее эффективным средством для решения задачи мониторинга нефтяных загрязнений в море, благодаря ее всепогодности, независимости от освещенности, высокому разрешению и широкому обзору [8]. Разлившаяся на поверхности моря нефть образует нефтяное пятно, пленка которого гасит мелкомасштабное ветровое волнение и формирует области выглаживания, именуемые сликами. Они отображаются темным тоном на радиолокационных изображениях (рис. 1–2). Однако имеется ряд природных факторов, ограничивающих применимость космической радиолокации для решения задачи идентификации нефтяных пятен. При слабом ветре 1–2 м/с нефтяные пленки не различаются на фоне темной (выглаженной) морской

поверхности. При сильном ветре 10–12 м/с они исчезают с поверхности вследствие интенсивного волнового перемешивания. Скорость ветра между 3 и 8 м/с является идеальной для обнаружения нефтяных загрязнений. В этом случае слики выглядят темными пятнами на светлой (взволнованной) поверхности моря.

В настоящее время успешно работает система оперативного спутникового мониторинга юго-восточной части Балтийского моря, разработанная российскими специалистами по заказу ООО «ЛУКОЙЛ–Калининградморнефть» [9–11] (рис. 3). Аналогичные системы спутникового Мониторинга разработаны в ГУ НИЦ «Планета» (<http://planet.iitp.ru>) для Азовского моря [12] и российского сектора Черного моря [13–15]. Для Северного Каспия [16–18] спутниковый мониторинг организован ИТЦ «СканЭкс» (<http://www.scanex.ru>) в сотрудничестве с некоммерческой организацией НП «Прозрачный мир» (<http://gis.transparentworld.ru/caspian>).

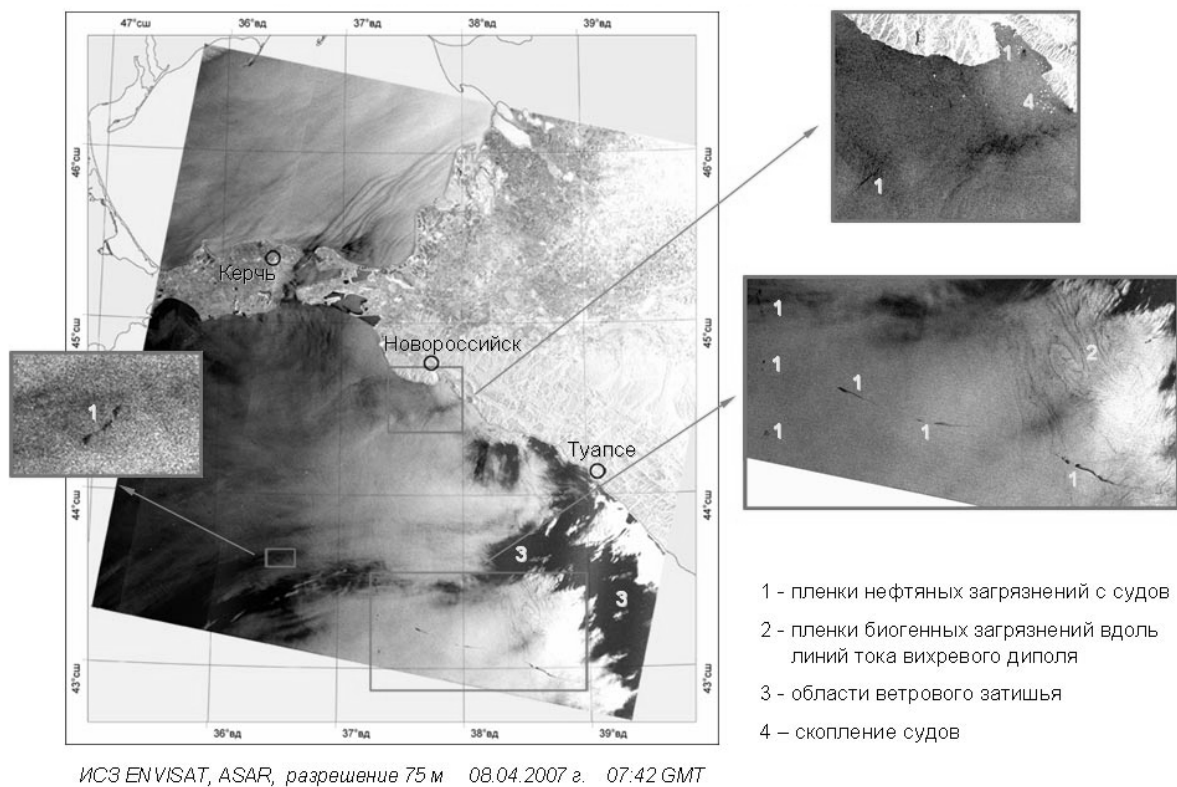


а)



б)

**Рис. 1.** Радиолокационные изображения нефтяных пятен в районе п. Нефтяные Камни (Каспийское море) на последовательных съемках спутников ERS-1 от 12 мая (а) и ERS-2 от 13 мая 1996 г. (б).



**Рис. 2.** Радиолокационное изображение северо-восточной части Черного моря и результат его дешифрирования (<http://planet.iitp.ru>).



**Рис. 3.** Схема оперативного спутникового мониторинга.

## Моделирование распространения нефтяных пятен и аварийных разливов

Распространение нефтяных пятен в море является весьма сложным процессом, зависящим от большого числа факторов, определяющих как состояние окружающей среды, так и свойств НУ. Решение этой многофункциональной задачи требует комплексного подхода, включающего в себя как одного из важных направлений исследование структуры гидрофизических полей моря и их изменчивости под воздействием гидрометеорологических факторов [19].

Среди известных моделей распространения нефтяных пятен и аварийных разливов стоит отметить модель Seatrack Web 2.0 Шведского института метеорологии и гидрологии (<http://www.smhi.se>), являющаяся развитием разработанной в 1970 году в том же институте модели прогноза дрейфа нефтяных пятен на Балтийском море [20]. Аналогичные модели созданы российскими специалистами для прогноза распространения нефтяных пятен для Черного моря [21], Каспия [22–24] и других море России [25].

## Моделирование фонового загрязнения нефтепродуктами

Оценка степени загрязнения НУ антропогенного происхождения Черного и Каспийского морей и учет трансграничных переносов загрязняющих веществ (ЗВ) по акватории этих морей может быть эффективной только при правильной оценке как уже существующей реальной картины нефтяного загрязнения, так и при анализе фонового пространственно-временное распределения концентрации НУ для каждого моря.

В первом приближении комплексные ЗВ (нефтяные углеводороды, бытовая органика) описываются в виде одного ЗВ, то есть рассматривается бинарная среда (вода + ЗВ). Если пренебречь влиянием концентрации ЗВ на циркуляцию, то задача эволюции ЗВ в бассейне разделяется на две независимые задачи. Первая задача – это чисто термогидродинамическая задача определения циркуляции в бассейне, вторая – задача распространения ЗВ, которая описывается двумерным уравнением эволюции концентрации  $C(x, y, t)$  загрязняющего вещества:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = D \Delta C - \frac{q}{\rho_0} + \frac{p}{\rho_0},$$
$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0,$$
(1)

где  $U, V$  – горизонтальные проекции скорости на оси  $0x$  и  $0y$  соответственно, получаемые из термогидродинамической модели или непосредственно из измерений (или расчетов по данным измерений, например, спутниковой альтиметрии);  $D$  – коэффициент турбулентной



диффузии;  $p(x, y)$  – скорость поступления ЗВ в среду;  $q(x, y)$  – скорость удаления примеси из бассейна;  $\rho_0$  – средняя плотность морской воды.

Согласно результатам многочисленных экспериментов температурный фактор  $T$  является определяющим в кинетике распада нефтяных углеводородов в морской воде. Повышение температуры на  $10^\circ\text{C}$  увеличивает скорость разложения нефтяных углеводородов в общем случае в 2–4 раза, что в 25 раз больше чем эффект, обусловленный изменениями  $pH$  на одну единицу, и примерно в 10 раз больше эффекта, вызванного изменениями солености на 1‰ [26, 27].

Согласно работе [28] процесс деструкции протекает по закону мономолекулярной реакции первого порядка, т.е. кинетическая кривая распада нефтепродуктов описывается уравнением:

$$C(t) = C_0 \exp(-kt),$$

где  $C_0$  начальная концентрация ЗВ,  $t$  – время превращения ЗВ,  $k$  – скорость химической реакции, которая зависит от  $\tau$  – периода полураспада ЗВ  $k = \ln(2/\tau)$ . В первом приближении процессы осаждения и испарения ЗВ, согласно [29], могут описаны линейной функцией

$$C(t) = C_0 \beta t.$$

Таким образом, скорости удаления примеси из бассейна  $q$  параметризуется как

$$q = \lambda C \rho_0 \exp(-\lambda t) + C \rho_0 \beta t, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – параметр, определяющий темп биохимической и микробиологической деструкции (окисления) ЗВ,  $\beta$  – параметр, характеризующий испарение примеси в атмосферу и удаление ее за счет осаждения (биоседиментации).

Модель (1)–(2) применима к ЗВ двух типов: первый тип условно назван «органика», так как наиболее ярким примером подобного ЗВ являются НУ, деструкция которых, в первом приближении, описывается экспоненциальным по времени законом; а испарение и осаждение – линейные функции по времени; второй тип, «неорганика» – это ЗВ, деструкция которых считается несущественной по сравнению с испарением и осаждением.

Численное решение задачи построено на применении явных разностных схем, при интегрировании на каждом временном шаге последовательно рассматриваются диффузия, деструкция, испарение и осаждение НУ.

Черное море соединяется с Мраморным морем через пролив Босфор и с Азовским морем через Керченский пролив. Через них осуществляется непрерывный водообмен, играющий важную роль в гидрологическом и термогидродинамическом режимах моря. В проливе Босфор отмечается устойчивая стратификация вод и водообмен происходит в вертикальной плоскости посредством двух разнонаправленных течений. С верхним течением из Черного моря происходит отток относительно малосоленых

черноморских вод. С нижним течением солёные воды Мраморного моря поступают в Черное и заполняют глубинные слои. Керченский пролив является типичным нестратифицированным мелководным проливом, в котором водообмен осуществляется попеременно из одного моря в другое [30].

Для расчета распространения НУ по акватории Черного моря, водообмен через Босфор следует рассматривать как приток и сток ЗВ. Из-за отсутствия данной информации (см. табл. 2) в поставленной задаче водообмен между Черным и Мраморным морями не учитывается. Согласно оценкам, приведенным в работе [31], водообмен через Керченский пролив можно рассматривать как дополнительный источник загрязнения НУ.

Сток вод из Каспийского моря в залив Кара-Богаз-Гол является существенным компонентом водного баланса моря [32], а, следовательно, влияет и на степень загрязнения НУ моря. В настоящее время в залив поступает более  $16 \text{ км}^3$  воды в год [33]. Для расчета распространения НУ по акватории Каспийского моря, сток в залив Кара-Богаз-Гол следует рассматривать только как сток НУ. Из-за отсутствия данной информации (см. табл. 2) в поставленной задаче этот сток не учитывается.

Данный подход хорошо зарекомендовал себя при расчетах АЕ Балтийского моря [34], Бургасского и Таганрогского заливов Черного моря и Керченского пролива [35–37] и был реализован в автоматизированной системе «Региональный экологический мониторинг морской среды» [38]. Во всех них в качестве исходной информации использовались поля поверхностных скоростей, рассчитанные по модели баротропной циркуляции, основанной на уравнениях «мелкой воды» [39]. Использование такой модели оправдывалось тем, что исследуемые акватории мелководны (средняя глубина Балтийского моря не превышает 100 м). Для расчета поля поверхностных скоростей Бургасского и Таганрогского заливов Черного моря и Керченского пролива использовались направление и скорость ветра, часто повторяющиеся в данных регионах. Для Балтийского моря поверхностные напряжения ветра рассчитывались с использованием соотношений Аккерблома [39] по картам среднегодовых значений атмосферного давления.

Пространственное разрешение и использование алгоритм ассимиляции (усвоения) оперативных данных спутниковой, метеорологической и океанографической информации в современных гидродинамических моделях Черного моря [40–44 и др.] дают возможность проведения оперативного мониторинга и прогноза состояния морской среды, в особенности полей течений.

К сожалению, на сегодня подобной оперативной модели для Каспийского моря не существует. Это связано в первую очередь с сильной межгодовой изменчивостью моря уровня [6, 32], что осложняет выделение синоптической изменчивости уровня из данных спутниковой альтиметрии [45] и соответственно усложняет процедуры усвоения данных. Первые шаги

в задаче усвоения данных температуры поверхности моря (ТПМ) в задаче термогидродинамики Каспийского моря представлены в работе [46].

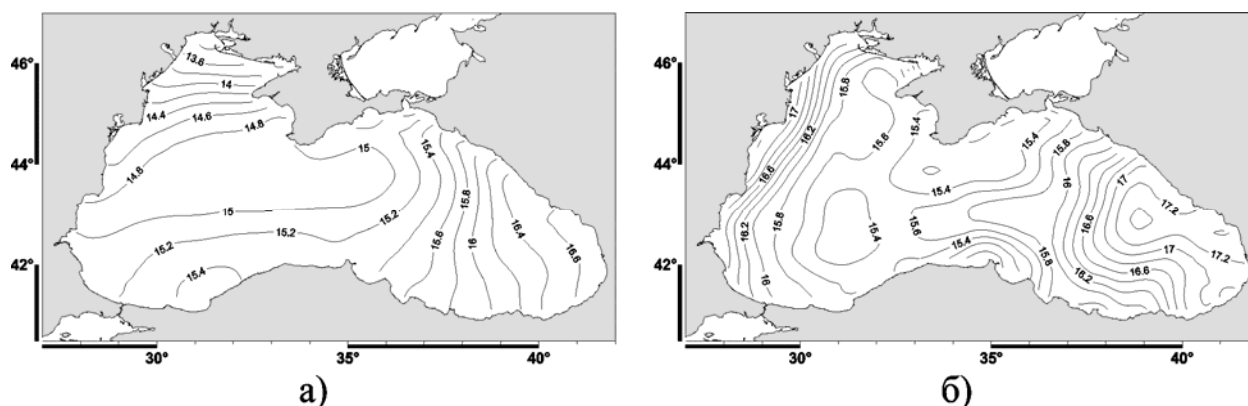
Следующим шагом в развитии оперативного мониторинга станет разработка оперативных моделей расчета концентрации различных ЗВ, включая и НУ. Однако данная задача может быть успешно решена только при условии задания фоновые концентрации ЗВ как начальных условий.

### Используемые данные

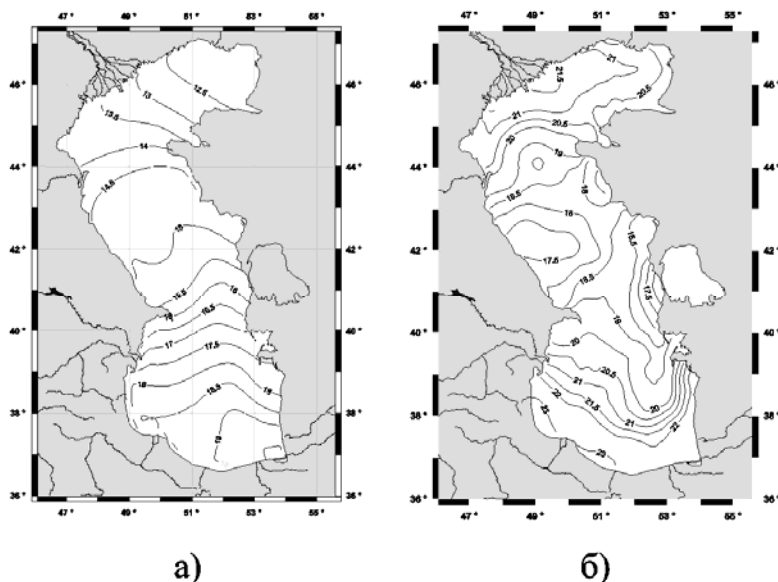
В данной работе для расчетов фоновой концентрации НУ по модели (1)–(2) использовались спутниковая информация о ТПМ для учета процессов деструкции, испарения и осаждения НУ и данные спутниковой альтиметрии для расчета поверхностных течений для учета адвекции НУ. В модельном сценарии расчета использовались величины реальных сбросов НУ (см. табл. 2) без учета источников загрязнения, связанных с транспортировкой нефти, а для Каспийского моря не учитывались естественные источники загрязнения.

Температура морской поверхности (ТПМ). На сегодняшний день ТПМ определяется по данным радиометрии в ИК и СВЧ диапазонах с точностью измерения  $0.3\text{--}0.5^\circ\text{K}$  и  $0.6\text{--}0.7^\circ\text{K}$  соответственно [47–50]. Пространственное разрешение составляет  $1.1\text{--}4\text{ км}^2$  для ИК-диапазона и  $25\text{ км}^2$  для СВЧ диапазона. Ширина полосы обзора изменяется от 1400 до 4000 км в зависимости от датчика. Количество работающих спутников, оснащенных приборами измерения ТПМ таково, что, например, для Черного и Каспийского морей можно получать данные дистанционного зондирования не реже одного раза в сутки.

В данной работе использовались ежедневные данные о ТПМ интерполированные в регулярную сетку с пространственным разрешением  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  проекта Global Data Assimilation Experiment High Resolution Sea Surface Temperature Data (GHRSSST) [51], которые объединяют данные спутниковых измерений ТПМ в ИК и СВЧ диапазонах. Примеры ТПМ Черного и Каспийского морей приведены на рисунках 4–5.



**Рис. 4.** а – Климатическое поле температуры ( $^\circ\text{C}$ ) поверхности Черного моря, рассчитанное по данным GHRSSST за период с 1993 по 2008 гг.; б – синоптическое поле температуры ( $^\circ\text{C}$ ) морской поверхности на 6 июня 2008 г.



**Рис. 5. а –**  
 Климатическое поле температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) поверхности Каспийского моря, рассчитанное по данным GHR SST за период с 1993 по 2008 гг.;  
 б – синоптическое поле температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) морской поверхности на 6 июня 2008 г.

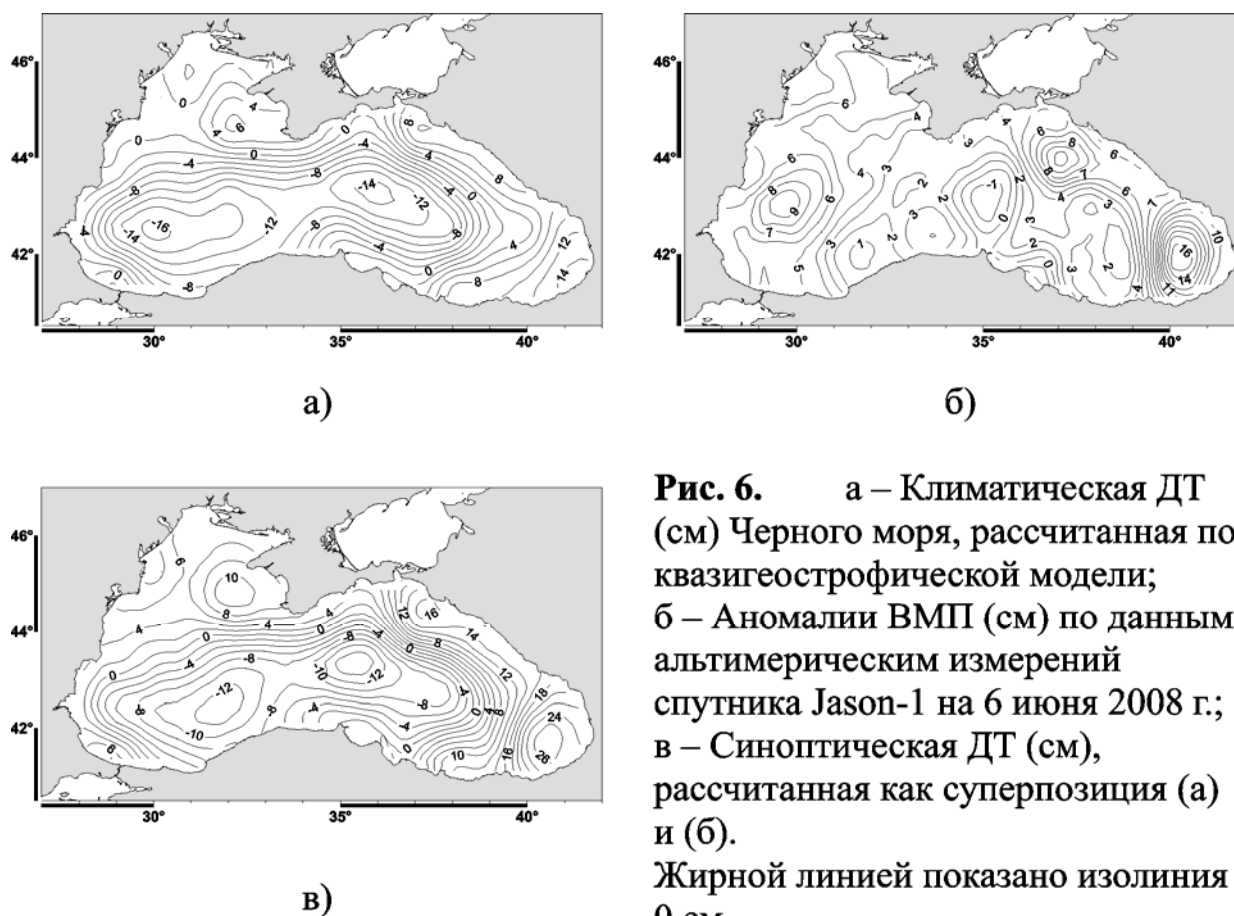
Спутниковая альтиметрия. По времени возврата зондирующего радиопульса на борт космического аппарата рассчитывается расстояние от спутника до подстилающей морской поверхности, а затем и сама высота моря. Точность расчетов высоты моря в настоящее время для современных альтиметров составляет 4.2 см [45, 52].

Динамическая топография (ДТ), определяемая по данным спутниковой альтиметрии, позволяет анализировать поля поверхностных течений, не имеющих ярко выраженный термический характер, который присущ сильным струйным течениям. Пространственно-временной масштаб данных о высоте морской поверхности (ВМП) позволяет активно использовать их для расчета поверхностных течений и в различных термогидродинамических моделях с ассимиляцией данных, что дает возможность с высокой точностью делать физически обоснованный прогноз.

Для Черного моря на первом этапе по данным гидрологических станций за многолетний период (с 1927 по 2008 годы) строились поля плотности, которые затем использовались в квазигеострофической модели для расчетов климатической динамической топографии (ДТ) и скоростей течений (рис. 6а). На втором этапе для временного интервала с января 1993 по декабрь 2008 по данным спутниковой альтиметрии рассчитывались аномалии ВМП с учетом всех необходимых поправок [52] (рис. 6б) относительно средней ВМП. В итоге после суммирования получалось поле синоптической ДТ (рис. 6в).

Для анализа синоптической изменчивости динамики Каспийского моря, чтобы правильно рассчитать аномалии ВМП, необходима новая модель средней ВМП. В первом приближении она должна соответствовать эквипотенциальной или невозмущенной поверхности моря в каждый момент времени. В отличие от глобальных моделей средней ВМП, построенных по данным спутниковой альтиметрии, для Каспийского моря она должна зависеть не только от широты и долготы, но и от времени. Такая модель создана в Геофизическом центре (ГЦ) РАН [45, 53] и обновляется каждый

год (рис. 7). Аномалии ВМП относительно этой средней ВМП и климатическая ДТ, рассчитанная по термогидродинамической модели Лаборатории прикладных морских исследований Гидрометцентра РФ, в сумме дают синоптическую ДТ.

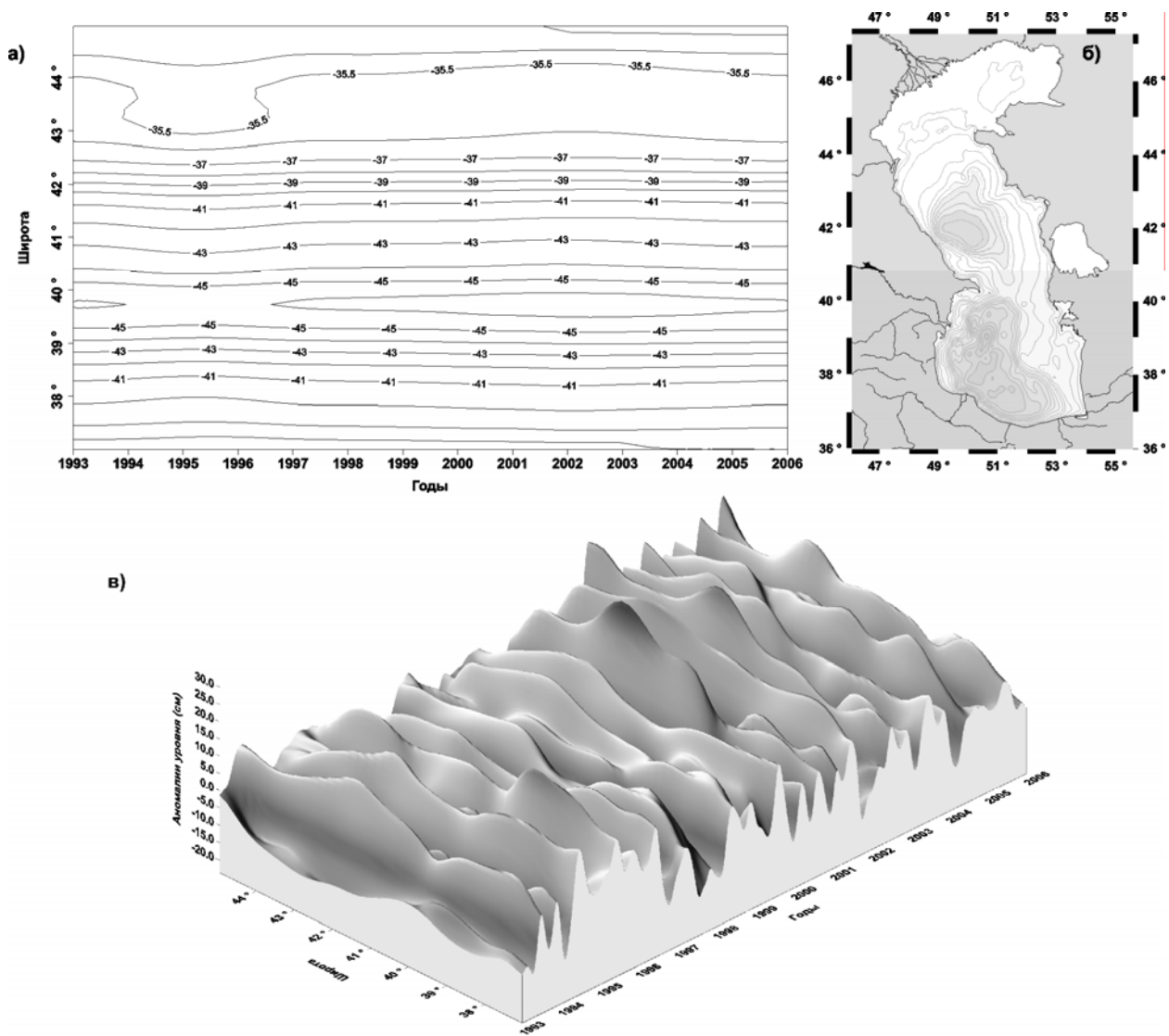


**Рис. 6.** а – Климатическая ДТ (см) Черного моря, рассчитанная по квазигеострофической модели; б – Аномалии ВМП (см) по данным альтиметрическим измерениям спутника Jason-1 на 6 июня 2008 г.; в – Синоптическая ДТ (см), рассчитанная как суперпозиция (а) и (б). Жирной линией показано изолиния 0 см.

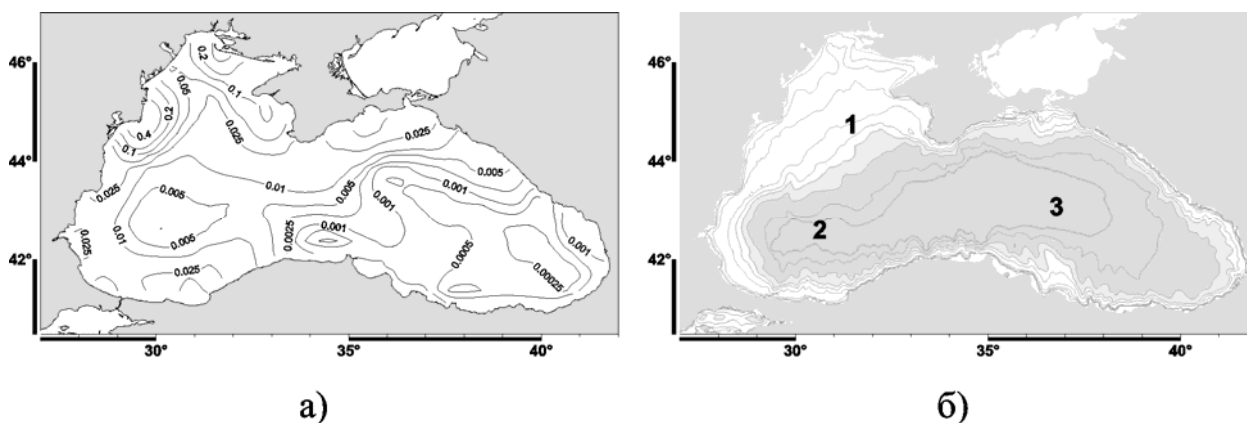
В работе использовались данные Интегрированной базы данных спутниковой альтиметрии ГЦ РАН [45] и данные проектов ENvironment And Climate (ENACT) и Developing Use of Altimetry for Climate Studies (DUACS) Европейской комиссии (EVK2-CT2001-00117 и ENV4-CT96-0357, соответственно), выполненных в Центре по хранению, верификации и интерпретации спутниковых океанографических данных (AVISO — Archiving Validation and Interpretation of Satellites Oceanographic data) [54–55]. Они включают данные альтиметрических измерений изомаршрутных программ спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1 интерполированные в узлы регулярной сетки с таким же пространственным разрешением  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , что и данные ТМП.

### Результаты и их обсуждение

Согласно полученным расчетам для Черного моря средняя суммарная концентрация НУ не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК), равной 0.05 мг/л. Однако первое предположение, что загрязнение моря не



**Рис. 7.** Временная изменчивость (а) средней ВМП (м) и (в) аномалий ВМП (см) Каспийского моря вдоль нисходящего трека спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1.



**Рис. 8.** а – Пространственное распределение фоновой концентрации НУ по акватории Черного моря, рассчитанное по модели (1)–(2) без учета загрязнения связанного с транспортировкой нефти.

Жирной линией показано значение концентрации равное ПДК;  
 б – географическое районирование Черного моря по концентрации НУ.

столь существенно, ошибочно. Для подтверждения этого рассмотрим пространственное распределение концентрации НУ без учета загрязнения, связанного с транспортировкой нефти (рис. 8). Результаты расчетов различных модельных сценариев для Черного моря более полно представлены в работе [4].

Анализ пространственного распределения концентрации НУ по акватории Черного моря показывает, что основное загрязнение сосредотачивается в северо-западной части моря. Это обусловлено не только тем, что в данном районе сосредоточены основные источники сброса связанные со стоком рек Дунай (42% от общего сброса) и Днепр (13%) и сбросом промышленных и бытовых вод у побережья Украины (более 23%), но и следующими факторами.

Характерной особенностью поля ТПМ Черного моря является сезонное постоянство минимума температуры в северо-западной части моря и максимума в его юго-восточной части (рис. 4). Эта разница в среднем достигает 2–4°C зимой за счет резкого охлаждения поверхностных вод северо-западной части, и летом до 2–3°C. Поэтому процессы деструкции, испарения и осаднения в северо-западной части моря происходят медленнее по сравнению с его юго-восточной частью [30].

Одной из особенностей динамического режима северо-западной части Черного моря является существование антициклонического вихря около восточного побережья Крыма (рис. 6а, 6в), что и удерживает основную часть НУ, поступающего со стоком реки Днепр и с побережья Украины, в данном районе.

Поступление НУ со стоком реки Дунай подчиняется не только особенностью циркуляции северо-западной части Черного моря, но и его общей циркуляции.

Акватории Черного моря можно разделить на три зоны с резко различающимися режимами течений: зона прибрежной антициклонической завихренности (ПАЗ) течений, центральная зона циклонической завихренности (ЦЗ) течений и разделяющая их зона стрежня Основного Черноморского течения (ОЧТ). На правой периферии ОЧТ между его стрежнем и шельфом в результате меандрирования ОЧТ и бокового сдвига скорости (максимальный горизонтальный градиент скорости может достигать 10–11 см/с на милю [56]) формируется зона ПАЗ. Вся система меандров и вихрей движется вдоль берега в направлении основного потока ОЧТ со скоростью 3.7–5.5 км/сутки, что создает в прибрежной зоне особый режим течений. Таким образом, горизонтальный водообмен между прибрежными и открытыми районами моря обусловлен наличием прибрежных антициклонических вихрей (ПАВ) и их взаимодействием с ОЧТ и друг с другом, которое выражается в трансформации ПАВ в вихри открытого моря [57–60].

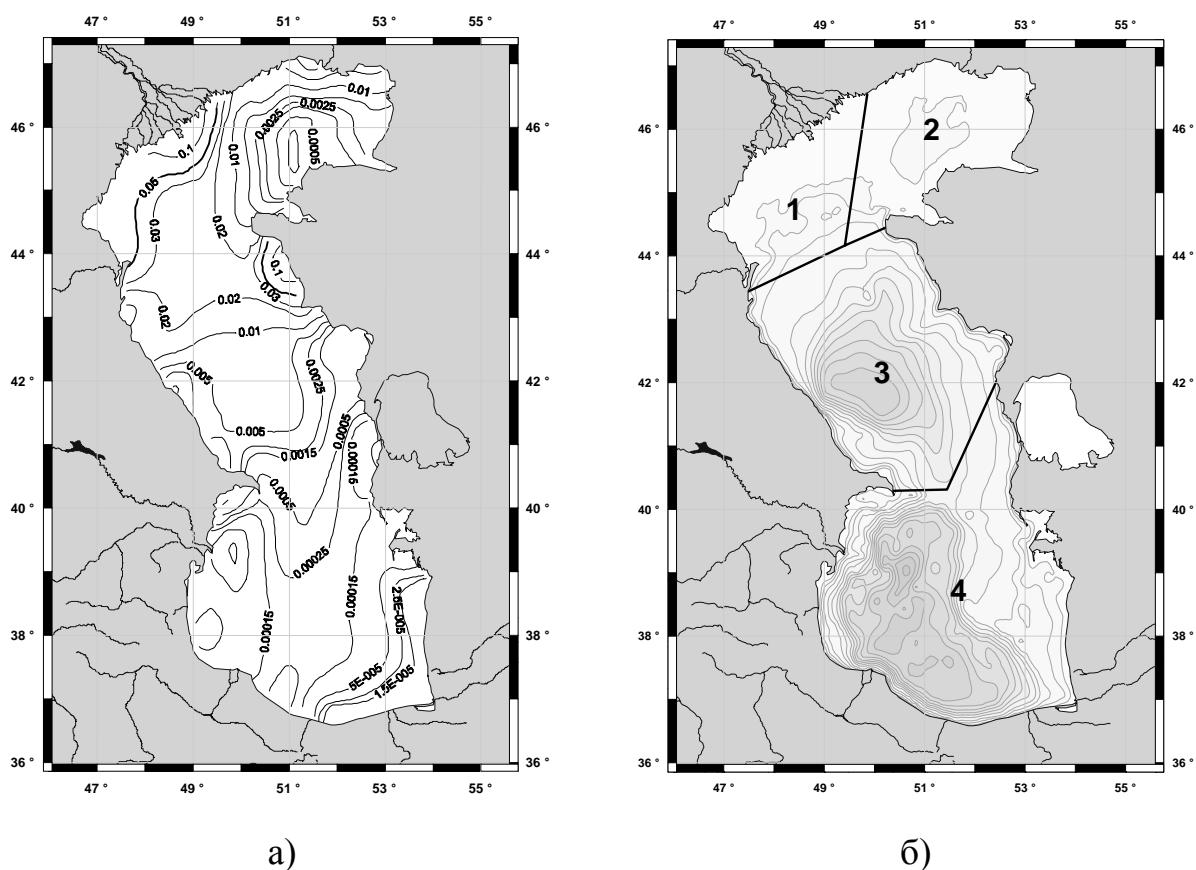
Часть НУ, поступающего в море со стоком реки Дунай, движется по стрежню ОЧТ и, достигая западной части ЦЗ, возвращается к юго-западному побережью Крыма. То есть можно говорить, что восточная часть моря

«изолирована» от поступления НУ, источники которых расположены в восточной части Черного моря [61]. Это хорошо видно на рис. 8а.

Сравнение результатов расчетов с данными натурных измерений [31, 62–64] показало, что концентрации НУ в несколько раз ниже, особенно у побережья России, Грузии и Крыма (особенно в районе Керченского пролива). Скорее всего, это вызвано тем, что данные о величинах сброса НУ (табл. 2) в море сильно занижены.

Для Каспийского моря по результатам расчетов средняя суммарная концентрация НУ не превышает ПДК, так же как и для Черного моря. Предположение, что загрязнение моря не столь существенно, ошибочно. Рассмотрим пространственное распределение концентрации НУ без учета естественных источников загрязнения и источников, связанных с транспортировкой нефти (рис. 9а).

Анализ пространственного распределения концентрации НУ по акватории Каспийского моря показывает, что основное загрязнение сосредотачивается в северо-западной части Северного Каспия. В данном районе сосредоточены основной источник сброса, связанный со стоком реки Волга (51% от общего сброса), но и следующими факторами.



**Рис. 9.** а – Пространственное распределение фоновой концентрации НУ по акватории Каспийского моря, рассчитанное по модели (1)–(2) без учета загрязнения связанного с транспортировкой нефти.



Жирной линией показано значение концентрации равное ПДК;  
б – географическое районирование Каспийского моря по концентрации НУ.

Характерной особенностью поля ТПМ Каспийского моря является постепенное повышение температуры по направлению на юг. Разница ТПМ между Северным, Средним и Южным Каспием, составляет зимой 2–3°C. Летом минимальные значения ТПМ наблюдаются в центральной части моря, так как его северная часть за счет своей мелководности прогревается намного сильнее. При этом разница в величинах ТПМ для каждой части моря составляет 2–3°C между Северным и Центральным Каспием и 3–4°C между Центральным и Южным [6, 32]. Поэтому температурный режим моря сильно влияет на процессы деструкции, осаждения и испарения НУ в разных его частях.

Особенностью циркуляции северной части Каспийского моря является существование устойчивого течения вдоль восточного берега, направленного на север, и течения направленного на юг вдоль северной части западного берега моря. В юго-западной части Среднего Каспия расположен антициклонический вихрь, который препятствует переносу вод, а, следовательно, и НУ, на юг из Среднего Каспия. Циклонический круговорот в центре Южном Каспии формирует направленное на север течение, начинающегося на восточной периферии этого круговорота. В западной части Южного Каспия в августе и ноябре располагается антициклонический вихрь. В феврале и апреле в северо-западной части возникает циклонический круговорот, а антициклонический вихрь в эти месяцы смещается в юго-западную часть [6, 32].

Таким образом, поступающие НУ со стоком реки Волга в основном концентрируются северо-западной части Северного Каспия и у побережья Калмыкии и Дагестана. Интересной особенностью является повышенная концентрация НУ летом у восточного побережья полуострова Мангышлак южнее города Шевченко. Этот объясняется не только особенностью циркуляции вод, но и тем фактом, что летом в данном районе наблюдается апвеллинг [65, 66], который уменьшает процессы деструкции, осаждения и испарения НУ. Летнее уменьшение концентрации НУ в восточной части Северного Каспия, вызванное сильным перемешиванием вод за счет ветровых волн на мелководье, наоборот усиливает эти процессы.

### **Заключение**

Предлагаемая модель позволяет рассчитать фоновые загрязнения НУ с учетом всех особенностей термогидродинамического режима Черного и Каспийского морей, несмотря на заниженные, по мнению автора, величины сброса. Уточнение величин сброса НУ, скорее всего, не изменит пространственное распределение концентрации НУ по акватории морей.

Таким образом. Черное море можно разделить на три «изолированные» части (рис. 8б): 1 – северо-западную, 2 – западную и 2 – восточную. Обмен НУ между ними затруднен, особенно между западной и восточной частью из-за существования центральной зоны циклонической завихренности.

Каспийское море по уровню концентрации НУ можно разделить на четыре «изолированные» района (рис. 8б): 1 – восточная часть Северного Каспия, 2 – западная часть Северного и побережье Дагестана южнее Махачкалы, 3 – центральная часть и 4 – южная часть. Границы между районами почти совпадают с границами между Средним, Центральным и Южным Каспием, за исключением последнего района 4, который захватывает часть восточного побережья моря.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 528 с.
2. Patin S. Environmental Impact of the Offshore Oil and Gas Industry. – Ecomonitor Pub., 1999. – 425 pp.
3. Stoyanov D., Dorogan P. and Jelescu S. The Black Sea contingency planing for marine oil spills //Environmental Degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies /Eds. Besiktepe S.T., Ünlüata Ü. and Bologna A.S. NATO Science Partnership Sub-Series, Vol. 56, Netherlands: Springer, 1999, P. 351–367.
4. Лебедев С.А. Модельные расчеты фоновых значений антропогенного загрязнения нефтепродуктами и ассимиляционной емкости Черного моря (с использованием данных дистанционного зондирования). //Инженерная экология, 2008, №5, С. 43–51.
5. Мехтиев А.Ш., Гюль А.К. Техногенное загрязнение Каспийского моря. – Баку: «Элм», 2006. – 180 с.
6. Мамедов Р.М. Гидрометеорологическая изменчивость и экогеографические проблему Каспийского моря. – Баку: «Элм», 2007. – 436 с.
7. Лобковский Л., Зацепин А., Ковачев С. и др. Технология многоуровневого экологического мониторинга в целях информационного обеспечения безопасности морской добычи нефти и газа. //Технологии ТЭК, Апрель 2007.
8. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с. [Rees W.G. Physical Principles of Remote Sensing. 2nd Edition. Cambridge University Press. 2001. 372 pp.]
9. Костяной А.Г., Лебедев С.А., Соловьев Д.М., Пичужкина О.Е. Спутниковый мониторинг юго-восточной части Балтийского моря. Отчет 2004. – Калининград: ООО «ЛУКОЙЛ Калининградморнефть». 2005. – 36 с.
10. Костяной А.Г., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. и др. Оперативный спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений юго-восточной части Балтийского моря. /Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сборник научных статей, Науч. ред. Е.А. Лупян и О.Ю. Лаврова, Выпуск 3. Том I, М.: ООО «Азбука-2000», 2006, С. 22–31.

11. Kostianoy A., Litovchenko K., Lavrova O. et al. Operational Satellite Monitoring of Oil Spill Pollution in the Southeastern Baltic Sea: 18 Months Experience. //Environmental research, engineering and management, 2006, Vol. 38, №4, P. 70–77.

12. Бедрицкий А.И., Асмус В.В., Кровотынцев В.А. и др. Спутниковый мониторинг загрязнения российского сектора Черного и Азовского морей в 2003–2007 гг. //Метеорология и гидрология, 2007, №11, С. 5–13.

13. Литовченко К.Ц., Лаврова О.Ю., Митягина М.И. и др. Нефтяные загрязнения восточной части Черного моря: космический мониторинг и подспутниковая верификация //Исслед. Земли из космоса, 2007, №1, С. 81–94.

14. Litovchenko K.T., Lavrova O.Y., Mityagina M.I. et al. Oil pollution in the eastern Black Sea: monitoring from space and sub-satellite verification. //Earth Observation and Remote Sensing, 2007, №1, P. 81–93.

15. Shcherbak S.S., Lavrova O.Y., Mityagina M.I. et al. Multisensor satellite monitoring of seawater state and oil pollution in the northeastern coastal zone of the Black Sea. //Intern. J. of Remote Sensing, 2008, Vol. 29, №21, P. 633 – 6345. doi: 10.1080/01431160802175470

16. Иванов А.Ю., Востоков С.В., Ермошкин И.С. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации (на примере Каспийского моря). //Исслед. Земли из космоса, 2004, №4, С. 82–92.

17. Иванов А.Ю., Затыгалова В.В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических информационных систем. //Исслед. Земли из космоса, 2007, №6, С. 46–63.

18. Иванов А.Ю., Литовченко К.Ц., Затыгалова В.В. Аварийный разлив мазута в Керченском проливе: радиолокационный мониторинг и результаты моделирования. // Исслед. Земли из космоса, 2008, №4, С. 62-76.

19. Овсиенко С.Н., Зацепа С.Н., Ивченко А.А. Моделирование разливов нефти и оценка риска воздействия на окружающую среду. //Тр. ГОИН, 2005, Вып. 209, С. 248–271.

20. Seatrack Web 2.0 – an on-line oil drift forecasting system for emergency purposes. Swedish Meteorological and Hydrological Institute. //SE-601 76 Norrköping . Sweden, 2005. P. 1–4.

21. Коротенко К.А., Боуман М.Д., Дитрих Д.Е. Моделирование циркуляции и переноса нефтяных пятен в Черном море. //Океанология, 2003, Т. 43, №3, С. 367–378.

22. Коротенко К.А., Мамедов Р.М. Моделирование процессов распространения нефтяных пятен в прибрежной зоне Каспийского моря. //Океанология, 2001, Т. 41, №6, С. 34–45.

23. Korotenko K.A., Mamedov R.M., Mooers C.N.K. Prediction of the Dispersal of Oil Transport in the Caspian Sea Resulting from a Continuous Release. //Spill Science and Technology Bulletin, 2000, Vol. 6, №5/6, P. 323–339. doi: doi:10.1016/S1353-2561(01)00050-0.

24. Korotenko K.A., Mamedov R.M., Mooers C.N.K. Prediction of the Transport and Dispersal of Oil Transport in the South Caspian Sea Resulting from Blowouts. //J. Environ. Fluid Mech., 2001, Vol. 1, №4, P. 383–414. doi: 10.1023/A:1015785909615.

25. Kochergin I.E., Bogdanovsky A.A., Budaeva V.D. et al. Modeling of oil spills for the shelf conditions of northeastern Sakhalin. In: Proceedings of the Second PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas Nemuro, Japan, November 9-12, 1998. //Eds. Lobanov V.B., Nagata Y. and Riser S.C. – PICES Scientific Report №12, 1999, С. 123–130.

26. ZoBell C.E. Microbial degradation of oil: present status, problems and perspectives. //The microbial degradation of oil pollutants. /Eds. D.G. Ahearn and S.P. Meyers. – Center for Wetlands resources. Pub. № LSU-SG-73-01 Georgia State Univ. Atlanta. 1973, P. 1–16.

27. Бронфман А.М., Рясинцева Н.И., Савин П.Т., Подплетная Н.Ф. Пространственно-временные особенности деструкции углеводородов в море //Химия и биология моря. – М.: Гидрометеиздат, 1987, С. 79–81.

28. Процессы самоочищения морских вод. //Труды ГОИН, Вып. 128, 1978. – 145 с.

29. Проблемы химического загрязнения вод мирового океана. Т. 1. Динамика и прогноз загрязнения океанических вод. /Под ред. А.И. Симонова.– Л.: Гидрометеиздат, 1985.– 145 с.

30. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. /Под ред. А.И. Симонова и Е.Н. Альтман– СПб: Гидрометеиздат, 1991. – 430 с.

31. Шибаева С.А., Ильин Ю.П., Фомин В.В. Современное состояние загрязнения прибрежных вод Азовского моря и вынос загрязняющих веществ в Черное море: Екологічні проблеми Чорного моря //Зб. наук. ст. ОЦНТЕІ. – Одеса: ОЦНТЕІ, 2001, С. 363–366.

32. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Проект «Моря». Том VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. /Под ред. Ф.С. Терзиева А.Н. Косарева и А.А. Керимова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 359 с.

33. Лавров Д.А. Гидрологический режим залива Кара-Богаз-Гол в условиях свободного доступа воды. //Экологический проблемы Каспия. РАН и Нац. акад. США: Сб. докл. Междунар. науч. Семинара по экологическим проблемам Прикаспийского региона. 1–3 дек. 1999 г. Москва. /Под ред. М.Г. Хубларяна. М., Киров, 2000, С. 17–21.

34. Герасимов В.А. Моделирование ассимиляционной емкости нефтяных углеводородов в Балтийском море. //Труды ГОИН, Вып. 191, 1988, С. 84–92.

35. Практическая экология морских регионов. Черное море. /Под ред. В.П. Кеонджяна, А.М. Кудина и Ю.В. Терехина. – Киев: Наукова думка, 1990. – 252 с.

36. Леоненко О.И., Зильберштейн О.И. Моделирование распространения нефтяных углеводородов в Бургасском заливе Черного моря. //Труды. ГОИН, Вып. 197, 1991, С. 149–155.
37. Keondjian V.P., Kudin A.M., Borisov A.S. Practical Ecology of Sea Regions – Concepts and Implementation. //Geo. Journal, 1992, Vol. 272, №2, P. 159–168. doi: 10.1007/BF00717700
38. Кеонджян В.П., Кабанов М.И., Лебедев С.А. и др. Структура и возможности автоматизированной системы «Региональный экологический мониторинг морской среды». //Геохимия, 1993, №5, С. 760–767.
39. Марчук Г.И., Саркисян А.С. Математическое моделирование циркуляции океана. – М.: Наука. 1988. – 304 с.
40. Korotaev G.K., Saenko O.A., Koblinsky S.J. Satellite altimetry observations of the Black Sea. //J. Geophys. Res., 2001, Vol. 106, №C1, P. 917–933. doi: 10.1029/2000JC900120.
41. Дорофеев В.Л., Коротаев Г.К. Ассимиляция данных спутниковой альтиметрии в вихререзающей модели циркуляции Черного моря. //Морской гидрофизический журн. 2004, №1, С. 52–68.
42. Демьшев С.Г., Кныш В.В., Коротаев Г.К. Результаты расчета адаптированных полей Черного моря на основе ассимиляции в модели данных по климатической температуре и солёности. //Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2006, Т. 42, №4, С. 604–617.
43. Кныш В.В., Демьшев С.Г., Инюшина Н.В., Коротаев Г.К. Ассимиляция климатических гидрологических данных в модели Черного моря на основе алгоритма адаптивной статистики ошибок прогноза //Морской гидрофизический журн., 2008, №1, С. 26–37.
44. Коротаев Г.К., Еремеев В.Н. Введение в оперативную океанографию Черного моря. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2006. – 382 с.
45. Лебедев С.А., Костяной А.Г. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря. – М.: Издательский центр «МОРЕ» Международного института океана. 2005. – 366 с.
46. Кныш В.В., Ибраев Р.А., Коротаев Г.К., Инюшина Н.В. Сезонная изменчивость климатических течений Каспийского моря, восстановленная ассимиляцией климатической температуры и солёности и модели циркуляции вод. //Океанология, 2008, Т. 44, №2, С. 251–265.
47. Jourdan D., Gautier C. Comparison between Global Latent Heat Flux Computed from Multisensor (SSM/I and AVHRR) and from In Situ Data. //J. Atm. Ocean. Tech., 1995, Vol. 12, №1, P. 46–72. doi: 10.1175/1520-0426(1995)012<0046:CBGLHF>2.0.CO;2.
48. Gemmill W.H., Krasnopolsky V.M. The Use of SSM/I Data in Operational Marine Analysis. //Weather and Forecasting, 1999, Vol. 14, №5, P. 789–800. doi: 10.1175/1520-0434(1999)014<0789:TUOSID>2.0.CO;2
49. Keogh S.J.; Robinson I.S.; Donlon C.J.; Nightingale T.J. The accuracy of AVHRR SST determined using shipborne radiometers. //Int. J. Remote Sensing, 1999, Vol. 20, №14, P. 2871–2876. doi: 10.1080/014311699211840.

50. Pichel W., Maturi E., Clemente-Coln P., Sapper J. Deriving the operational nonlinear multichannel sea surface temperature algorithm coefficients for NOAA-15 AVHRR/3. //Int. J. Remote Sensing, 2001; Vol. 22, №4, P. 699–704. doi: 10.1080/01431160010013793

51. Donlon C., Robinson I., Casey K.S. et al. The Global Ocean Data Assimilation Experiment High-resolution Sea Surface Temperature Pilot Project. //Bulletin of the American Meteorological Society, 2007, Vol. 88, №8, P. 1197–1213. doi: 10.1175/BAMS-88-8-1197

52. Chelton D.B., Ries J.C., Haines B.J. et al. Satellite Altimetry. //Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications. /Eds. L.-L. Fu and A. Cazenave. – Academic Press, 2001, P. 1–131.

53. Lebedev S.A., Kostianoy A.G. Integrated using of satellite altimetry in investigation of meteorologic, hydrologic and hydrodynamic regime of the Caspian Sea. //Special Issue “Satellite Altimetry Over Land and Coastal Zones: Challenges and Applications”, Terr. Atmos. Ocean. Sci., 2008, Vol. 19, №1–2, P. 71–82, doi: 10.3319/TAO.2008.19.1-2.116(SA).

54. Le Traon P.-Y., Nadal F., Ducet N. An improved mapping method of multi-satellite altimeter data. //J. Atm. Ocean. Tech., 1998, Vol. 15, №2, P. 522–534. doi: 10.1175/1520-0426(1998)015<0522:AIMMOM>2.0.CO;2.

55. Le Traon P.-Y., Dibarboure G., Ducet N. Use of a high resolution model to analyze the mapping capabilities of multiple altimeter missions. //J. Atm. Ocean. Tech., 2001, Vol. 18, №7, P. 1277–1288. doi: 10.1175/1520-0426(2001)018<1277:UOANHRM>2.0.CO;2

56. Овчинников И.М., Титов В.Б. Антициклоническая завихренность течений в прибрежной зоне Черного моря. //Докл. АН СССР, 1990, Т. 314, №5, С. 1236–1239.

57. Гинзбург А.И. Процессы горизонтального водообмена в приповерхностном слое Черного. //Исслед. Земли из космоса, 1994, №2, С. 75–83.

58. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Незлин Н.П. и др. Антициклонические вихри над северо-западным материковым склоном Черного моря и их роль в переносе богатых хлорофиллом шельфовых вод в глубоководный бассейн. //Исслед. Земли из космоса, 2000, №3, С. 71–81.

59. Зацепин А.Г., Гинзбург А.И., Евдошенко М.А. и др. Вихревые структуры и горизонтальный водообмен в Черном море. //Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. /Под ред. А.Г. Зацепина и М.В. Флинта, М.: Наука, 2002, С. 55–81.

60. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Мезомасштабная изменчивость Черного моря по альтиметрическим данным TOPEX/Poseidon и ERS-2. //Исслед. Земли из космоса, 2003, №3, С. 34–46.

61. Кривошея В.Г., Монахов В.В. Роль течений и циркуляции вод в экологии российского шельфа Черного моря //Динамические процессы береговой зоны моря. – М.: Науч. мир, 2003. С. 148–152.

62. Синицына Н.Н., Субботин А.А., Савоськин В.М. и др. Влияние загрязняющих стоков на морские экологические системы Черного моря и

поиск методов их расчета и контроля. //Сб. трудов научн. конференции «Диагноз состояния экосистемы Черного моря и зоны сопряжения суши и моря» 29 сентября-3 октября 1997 г., г. Севастополь – пос. Качивели. /Под ред. чл.-корр. НАН Украины В.Н. Еремеева. – Севастополь, 1997, С. 81–85.

63.Kuzanova I., Lashkuri M. Riverine Input of Pollutants from Georgia in the Black Sea Basin. //Proceedings of IOWBSRC Workshop on Black Sea Fluxes, Istanbul, Turkey, IO-12 June 1997 /Ed. N. Cagatay. – Paris, UNESCO, 2000 , IOC Workshop Report № 145, P 85–88.

64.Орадовский С.Г. К методологии изучения нефтяного загрязнения российской части Черного моря. //Труды ГОИН, Вып. 208, 2002, С. 409–414.

65.Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Сезонная и межгодовая изменчивость температуры поверхности Каспийского моря. //Океанология, 2004, Т. 44, №5, С. 645–659.

66.Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Соловьев Д.М., Шеремет Н.А. Фронтальная зона апвеллинга у восточного побережья Каспийского моря (спутниковые наблюдения). // Исслед. Земли из космоса, 2006, №4, С. 3–12.

## ABSTRACT

Calculative results of oil product pollution spatial distribution for the Black and Caspian seas subject to advection, destruction, evaporations and sedimentation polluting substance based on dynamics and sea surface temperature according to remote sensing data are presented in this report. Features of dynamics of these seas create the "isolated" distribution areas of polluting substance concentration, the exchange between which does not occur almost.

## АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты расчетов пространственного распределения фоновых загрязнения нефтепродуктами Черного и Каспийского морей с учетом адвекции, деструкции, испарения и осаждения загрязняющего вещества, для расчета которых динамика и температура поверхности морей рассчитывались по данным дистанционного зондирования. Особенности динамики этих морей создают на их акватории «изолированные» области распределения концентрации загрязняющего вещества, обмен между которыми почти не происходит.

© С.А. Лебедев, 2009

## СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ. ОСНОВЫ, ПРАКТИКА, ПЕРСПЕКТИВЫ

*Марченков А.Ю.*  
(Россия, г. Москва)

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) на территории России производится в рамках инженерных изысканий для строительства. Целью СМР является, во-первых, выделение в пределах той или иной территории участков с интенсивностью сейсмических колебаний, отличной от определяемой картой общего сейсмического районирования территории РФ ОСР-97 с приложениями. ОСР-97, в свою очередь, представляет собой геофизическое обоснование разработки и применения СНиП в части сейсмостойкого строительства. Карты ОСР характеризуют степень сейсмической опасности всей территории страны и используются для социально-экономического планирования, рационального землепользования и сейсмостойкого строительства. Фактически, с этой точки зрения, СМР есть уточнение карт ОСР-97. Так, масштаб карт ОСР – 1: 2500000, в то время как масштаб карт СМР от 1:25000 до 1:5000. Во-вторых, работы по СМР проводятся для определения максимального сейсмического воздействия на сооружения.

Правовой основой проведения работ по СМР является СНиП II-7-81 (с изм. 1996 г.) «Строительство в сейсмических районах». Требования этого документа «следует соблюдать при проектировании зданий и сооружений, возводимых в районах сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов». На эту же норму ссылаются многие СНиП по возведению конкретных объектов, уточняя те или иные коэффициенты и параметры, связанные с расчетами рабочих характеристик соответствующих сооружений. Существует и действует Градостроительный кодекс российской федерации (№ 73-ФЗ от 7 мая 1998 года), который относит «городские и сельские поселения, которые расположены в регионах с экстремальными природно - климатическими условиями или особо неблагоприятными экологическими условиями вследствие радиоактивного загрязнения, повышенной сейсмичности или которые подвержены воздействию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» к «поселениям, которые являются объектами градостроительной деятельности особого регулирования». По этому же кодексу «сведения об экологическом, инженерно - геологическом, о сейсмическом, гидрологическом состоянии территорий» включаются в Государственный градостроительный кадастр. Работы по уточнению сейсмичности площадок строительства (СМР) выполняются организацией, составившей карту сейсмического микрорайонирования данной территории, или по согласованию с ней другой изыскательской организацией.

Следует обратить внимание и на тот факт, что сейсмическая опасность не уменьшается, а растет в прямой связи с хозяйственным освоением сейсмоактивных территорий и воздействием человека на литосферную



оболочку Земли (строительство крупных гидротехнических сооружений, добыча полезных ископаемых, плотные городские застройки и т.п.). Повышенный сейсмический риск связан с размещением в сейсмоактивных регионах атомных электростанций и других экологически опасных объектов, поскольку даже незначительные землетрясения могут нарушить их нормальное функционирование.

В целом, за счет фактической уникальности геолого-геофизических свойств регионов Земли, необходимость проведения всего комплекса работ по СМР определяется важностью объекта и соотношением основных предполагаемых затрат. К ним относятся, с одной стороны, дополнительные затраты на проектирование и строительство в расчете на повышенную интенсивность (балльность). С другой стороны существует возможность появления затрат на возможное укрепление основания сооружения по показаниям текущей сейсмичности. И, наконец, могут образоваться затраты на ликвидацию последствий сейсмических воздействий бóльших, чем были приняты при проектировании.

Работы по СМР для каких-либо участков сейсмоопасных зон могут дать уточнение сейсмических воздействий от землетрясений указанной интенсивности в ту или иную сторону. Такое уточнение возможно вплоть до величин  $\pm 2$  балла по шкале интенсивностей MSK-64. Указанная шкала описывает воздействие на объекты строительства сейсмических колебаний, механических движения поверхности Земли, вызванных землетрясениями. Существует два основных подхода к проведению СМР. Первый из них заключается в расчете изменений интенсивности по геологическим данным. Учитывается влияние на интенсивность по ОСР-97 грунтов, обводненности и особенностей рельефа. Дополнительно могут уточняться вероятности осыпей, обвалов, разжижения обломочных, рыхлых, водонасыщенных грунтов при сейсмическом воздействии. К этому классу методов можно отнести так же моделирование геологической среды и синтез акселерограм и спектров действия для проектировщиков зданий и сооружений. Вторым подходом является аппаратных исследований и измерениях с целью уточнения интенсивности колебаний в условиях конкретных площадок.

Для описания первого подхода к проведению СМР, в докладе рассматриваются важные при оценке сейсмических воздействий взаимосвязи. Это связь таких параметров землетрясений, как магнитуда и интенсивность, взаимосвязь параметров землетрясений, таких как удаленность и глубина с интенсивностью, связь параметров колебаний грунта, амплитуды ускорений и периода, с параметрами землетрясений и интенсивностью. С этой же точки зрения в докладе приведены четыре основные схемы расчетов для целей сейсмического микрорайонирования. К ним относятся метод сейсмических аналогий, метод сейсмических жесткостей, метод определения параметров слоистых сред и наиболее современный метод расчета – метод конечных элементов. Для каждого метода даются соответствующие комментарии.

При описании второго, экспериментального подхода, в докладе описываются исходные данные, получаемые по наблюдениям и составляющие основу для дальнейших исследований. К основным типам наблюдений здесь отнесены наблюдения за сильнейшими землетрясениями, наблюдения за землетрясениями малых магнитуд и взрывами, и, наконец, наблюдения микросейсмического фона. Соответствующие результаты наблюдений это акселерограммы колебаний на скальном основании и характерных грунтах в пределах площадки, данные для масштабирования воздействий и наконец, по спектральным отличиям воздействий для разных грунтов. В докладе приводятся примеры соответствующих наблюдений. Обсуждаются организационные вопросы и проблемы материально-технического обеспечения наблюдений в рамках СМР.

В качестве иллюстративного материала в докладе показаны пути учета особенностей грунтов и ряд соотношений для оценки приращения сейсмической интенсивности связанных с этими особенностями, в том числе при обводнении, коэффициенты перехода от амплитуд колебаний скальных грунтов к амплитудам рыхлых (слабых) грунтов, некоторые другие данные. В докладе обсуждаются различия модельных и реальных спектров действия, ряд вопросов расчета и выбора сценарного землетрясения и построения синтетических акселерограмм.

## **ABSTRACT**

Seismic site microzonation on the territory of Russia. Clarification of maps common and detailed seismic zonation for territories under urban and other buildings. Variation of calculated intensity in dependency on geological, ground and relief features. Instrumental observations with the purpose of intensity calculation. Simulation, synthetic accselerograms and action spectra.

## **АННОТАЦИЯ**

Сейсмическое микрорайонирование на территории России как уточнение карт общего и детального сейсмического районирования при освоении территорий под городскую и прочую сложную застройку с целью определения максимального сейсмического воздействия на сооружения. Изменение расчетной интенсивности по геологическим данным. Влияние грунтов, обводненности и особенностей рельефа на расчетную интенсивность. Аппаратурные исследования и измерения с целью уточнения интенсивности. Моделирование, синтез акселерограмм и спектров действия.

© А.Ю. Марченков, 2009

# МОНИТОРИНГ РАДОНОВЫХ ВСПЛЕСКОВ МЕТОДОМ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ

**Масаев М.Б., Савойский Ю.В., Сижажев М.А., Хоконов А.Х.**  
(Россия, г. Нальчик)

**Введение.** Решение ряда важных задач в области низкофоновой физики, геофизики, и экологии [1,2,3,6], требует определения концентрации радона и скорости его поступления из скальных пород, грунта, почвы. Радон как радиогенный газ непрерывно образуется в процессе радиоактивного распада  $U^{238}$  по схеме:

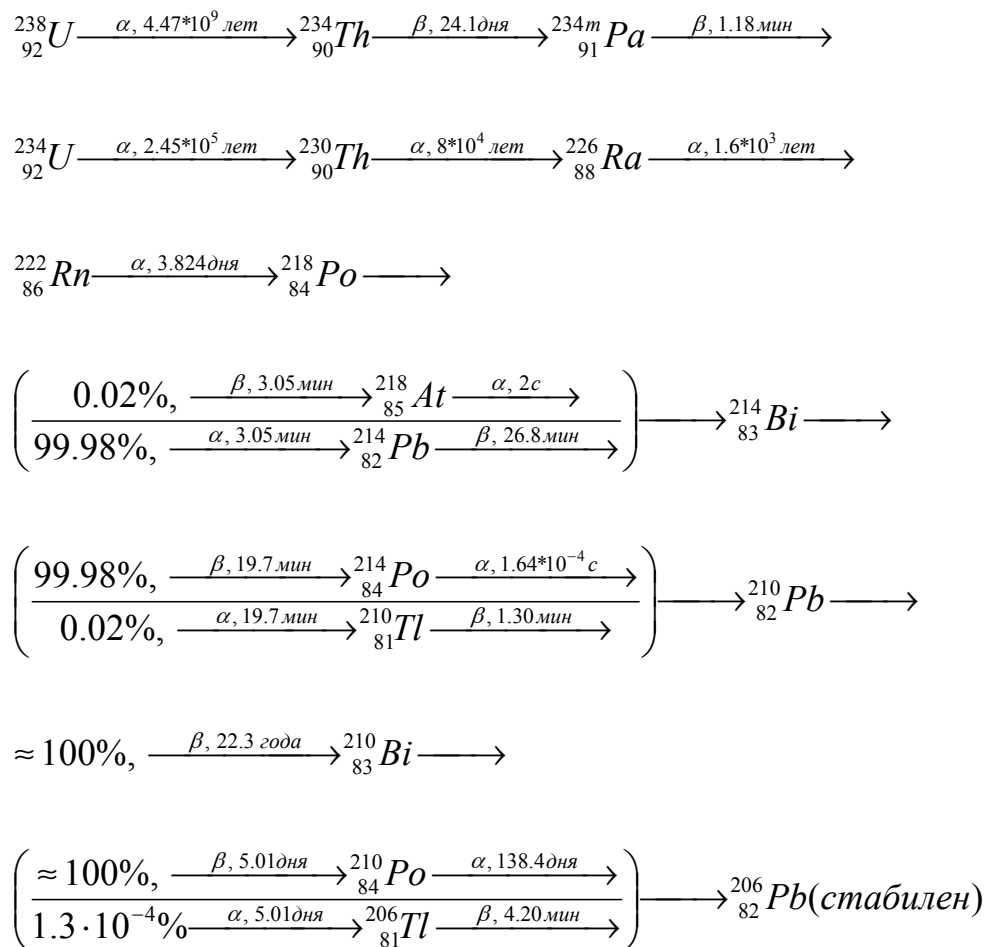


Рис. 1

Рис.1. Схема радиоактивного семейства U-238.

Скорость поступления радона зависит от макроскопического коэффициента диффузии, который в свою очередь зависит от пористости, проницаемости и наличия трещин.

Непосредственное измерение потока  $\alpha$ - частиц, образующихся в цепочке распада  ${}^{222}Rn$  представляет основу метода определения

концентрации радона с применением поверхностно-барьерных полупроводниковых детекторов и импульсных ионизационных камер [4,5].

Нами рассматривается возможность количественного определения концентрации радона и скорости его поступления, основанная на изучении гамма спектров продуктов распада радона  $^{222}\text{Rn}$ . Концентрация радона в помещении легко регулируется в сторону уменьшения путем вентилирования и сильно подвержена субъективным воздействиям. Скорость поступления радона является величиной не зависящей от различных случайных факторов, и обусловлена причинами фундаментального характера, такими как содержание урана  $^{238}\text{U}$  в окружающих породах, наличие геологических разломов, а также, расположением и конструктивными особенностями помещения.

Принято считать, что методы с использованием  $\beta$ - и  $\gamma$ -спектрометрии продуктов распада радона (ДПР) не являются количественными, так как основаны на не прямых измерениях и подвержены сильному влиянию систематических ошибок. В результате распада радона дочерние ядра  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ , и  $^{214}\text{Po}$  оказываются на различных конденсационных и диспергационных аэрозолях, далее они должны быть собраны на фильтре, а затем измерены с высокой эффективностью. На каждом из этих этапов необходимо учесть влияние систематических ошибок.

**Уравнения для вариаций содержания радона и его ДПР в воздухе и на фильтре.** Концентрация радона в закрытых помещениях зависит от скорости его поступления и периода полураспада (3.8 дня). Будем характеризовать скорость поступления радона –  $u$  и количеством атомов поступающих в единицу объема за единицу времени. При постоянной скорости поступления  $u$ , концентрация атомов радона на  $1 \text{ м}^3$  –  $r(t)$  подчиняется уравнению:

$$\frac{dr(t)}{dt} = -\lambda_r r(t) + u(t) \quad (1)$$

где  $\lambda_r$  постоянная распада радона  $\lambda_r = \frac{\ln 2}{T_r} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ .

При постоянной скорости поступления радона  $u_0$  и его отсутствием в начальный момент времени решение уравнения (1) имеет вид:

$$r(t) = \frac{u_0}{\lambda_r} (1 - e^{-\lambda_r t}).$$

Равновесная концентрация радона достигается за время порядка нескольких периодов полураспада  $r_0 = \frac{u_0}{\lambda_r}$ . В условиях равновесия число

поступающих атомов  $^{222}\text{Rn}$  равно числу распадающихся т.е.  $\dot{r} = 0$ . Экспериментально рассмотренное выше граничное условие реализуется с помощью проветривания помещения и последующей его изоляцией от

воздушных потоков. В общем случае, скорость поступления радона в помещение зависит от времени и для её определения необходимо обратиться интегральное уравнение

$$r(t) = r_0 + \int_0^t e^{\lambda(t-t')} u(t') dt' \quad (2)$$

Далее, рассмотрим процесс образования гамма квантов в цепочке распадов  $^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{218}\text{Po} \rightarrow ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po} \rightarrow ^{210}\text{Pb}$ . В результате  $\beta^-$  распада с периодом 27 мин  $^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi}$  образуется ядро висмута, возбуждение которого снимается излучением гамма квантов с энергией 242, 295, 352 кэВ. В свою очередь ядро висмута испытывает  $\beta^-$  распад с периодом 19 мин  $^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po}$ . Переход ядра полония сопровождается излучением гамма квантов с энергией 609, 768, 1120, 1238, 1407, 1764, 2120 КэВ. Схемы уровней дочерних ядер висмута и полония и вероятности их заселения в результате  $\beta$  распада свинца и висмута приведены на рис.2.

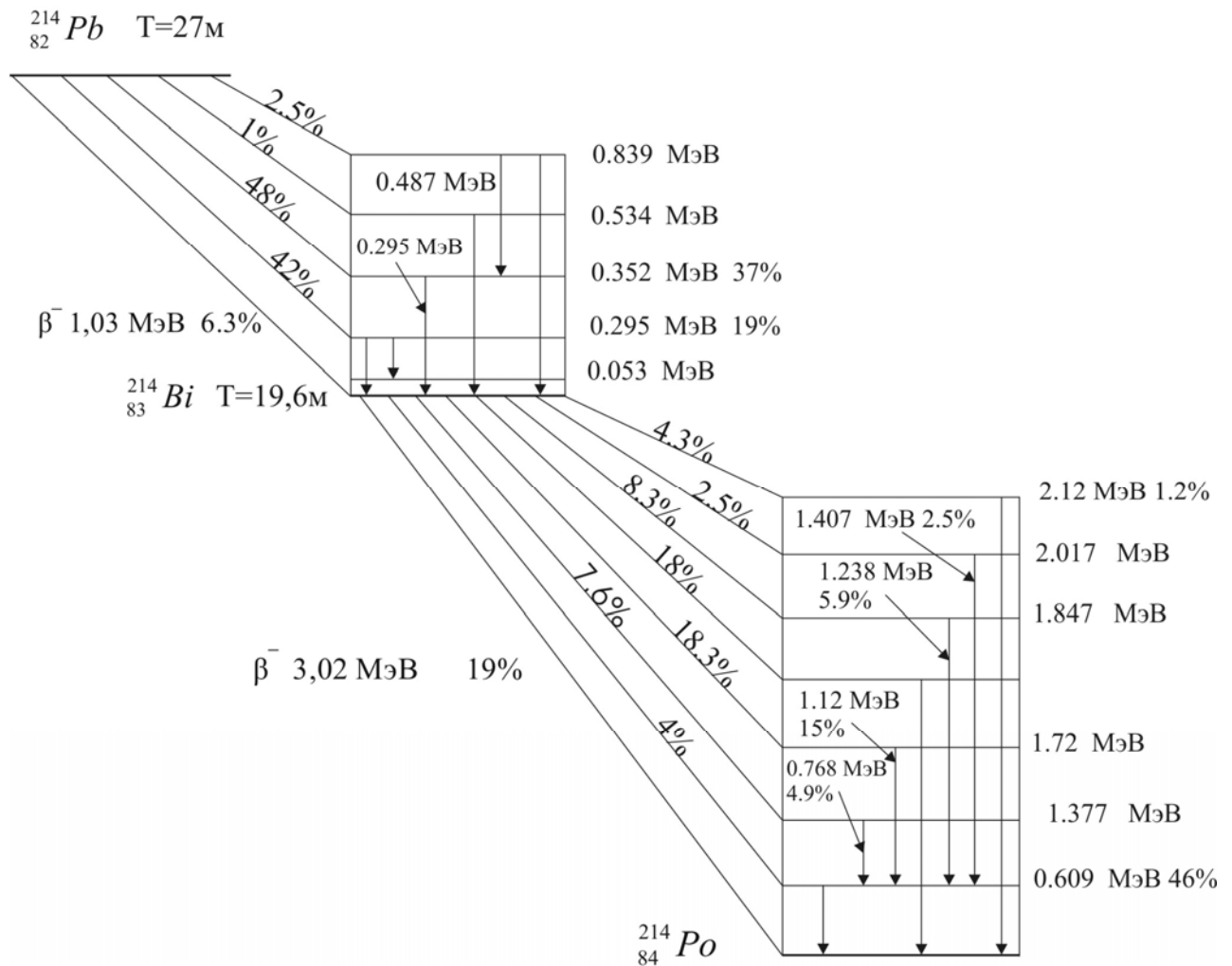


Рис. 2. Схемы гамма-переходов относящихся к бета-распадам свинца 214 и висмута 214.

Введем для обозначения концентрации  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$  соответственно переменные:  $r$ ,  $z$ ,  $y$ ,  $x$ ,  $p$ . Система уравнений для определения концентрации радона и его ДПР имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dt} &= -\lambda_r r + u & \frac{dz}{dt} &= -\lambda_3 z + \lambda_r r & \frac{dy}{dt} &= -\lambda_2 y + \lambda_3 z \\ \frac{dx}{dt} &= -\lambda_1 x + \lambda_2 y & \frac{dp}{dt} &= -\lambda_4 p + \lambda_1 x \end{aligned} \quad (3)$$

Соответствующие равновесные концентрации равны:

$$z_0 = \frac{u}{\lambda_3}; \quad y_0 = \frac{u}{\lambda_2}; \quad x_0 = \frac{u}{\lambda_1}; \quad p_0 = \frac{u}{\lambda_4} \quad (4)$$

Время накопления продуктов распада радона фильтром должно быть порядка периода полураспада каждого из элементов.

Активность - число распадов ядер радона и его продуктов в минуту на один литр объема определяется соотношением

$$a = \lambda_1 x + \lambda_2 y + \lambda_3 z + \lambda_r r + \lambda_4 p$$

После установления равновесия активность достигает своего предельного значения  $a_0$

$$a_0 = \lambda_1 x_0 + \lambda_2 y_0 + \lambda_3 z_0 + \lambda_r r_0 + \lambda_4 p_0 = 5u,$$

где  $u$  - скорость поступления атомов радона на один литр в минуту.

Продукты распада радона, а именно ионы полония, висмута и свинца не могут находиться в атмосфере в свободном состоянии долгое время, т.к. даже при малой концентрации аэрозольных частиц, вероятность их захвата порядка единицы.

Действительно уже при концентрации порядка  $10^4$ - $10^5$   $\text{см}^{-3}$ , учитывая, что коэффициент диффузии атомов ДПР не больше чем  $0.1$   $\text{см}^2/\text{с}$  [7] и предполагая размер аэрозольных частиц порядка  $0.1$   $\mu\text{м}$ ., получим расстояние на которое диффундируют атомы ДПР до захвата аэрозольной частицей, порядка  $10$   $\text{см}$ . В то время как средняя концентрация аэрозольных частиц порядка  $10^8$   $\text{см}^{-3}$ .

Часть аэрозольных частиц содержащих ДПР уходит из объема, оседая на поверхностях. Для определения доли аэрозольных частиц оседающих на поверхности был проведен эксперимент с ядерной фотоэмульсией. Открытая пластинка с фотоэмульсией размещалась в исследуемом помещении на несколько часов. После проявления подсчитывалось число треков альфа частиц. Получено, что на пластинке площадью  $54$   $\text{см}^2$  за час садится около  $4000$  аэрозольных частиц с ДПР, Эксперимент проводился, в помещении размером  $6 \times 8 \times 3$   $\text{м}^3$ , для случая когда число распадов радона составляет  $0.8$  Бк/л. Таким образом оценка доли аэрозолей с ДПР осевших на поверхностях, для рассматриваемого помещения, составляет  $15\%$ . Что в совокупности с погрешностью измерения, в данном эксперименте, объема прокачиваемого

воздуха равной 10% и погрешности в определении эффективности фильтра, дает общую погрешность эксперимента 20%.

Аэрозоли с ДПР можно собрать, прокачивая воздух помещения через аэрозольный фильтр, который должен удовлетворять двум требованиям. За время, ограниченное периодом полураспада дочерних продуктов, набрать достаточное для измерения количество аэрозолей содержащих ДПР и при этом сохранить высокую эффективность.

Таким образом, считая, что процедура накопления не ведет к потере продуктов распада, можно записать систему уравнений определяющих количество атомов ДПР, абсорбирующихся на фильтре. Учитывая, что радон фильтром не задерживается, а Полоний 214 фильтром не накапливается из за малости периода полураспада, запишем систему уравнений :

$$\begin{aligned}\dot{X} &= -\lambda_1 X + \lambda_2 Y + U_1 \\ \dot{Y} &= -\lambda_2 Y + \lambda_3 Z + U_2 \\ \dot{Z} &= -\lambda_3 Z + U_3\end{aligned}\quad (5)$$

где  $X(t)$ - число атомов висмута на фильтре в момент времени  $t$ ,  $U_1$ - скорость поступления на фильтр атомов висмута определяемая объемом прокачиваемого через фильтр воздуха  $V$  в минуту и концентрацией висмута  $x$ , а именно  $U_1 = xV$ . Аналогично определены другие переменные системы уравнений (5). Решение уравнений (5) с нулевыми начальными условиями имеет вид

$$\begin{aligned}Z(t) &= \frac{U_3}{\lambda_3}(1 - e^{-\lambda_3 t}) \\ Y(t) &= \frac{U_2}{\lambda_2}(1 - e^{-\lambda_2 t}) + U_3 \left( \frac{1 - e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2} - \frac{e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_3 t}}{\lambda_2 - \lambda_3} \right) \\ X(t) &= \frac{U_1 + U_2 + U_3}{\lambda_1}(1 - e^{-\lambda_1 t}) + \frac{U_2 + U_3}{\lambda_2 - \lambda_1}(e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}) + \\ &+ \frac{\lambda_2 U_3 (e^{-\lambda_3 t} - e^{-\lambda_1 t})}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{\lambda_2 U_3 (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t})}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_2 - \lambda_1)}\end{aligned}\quad (6)$$

Чтобы получить достаточную активность для измерения на спектрометре, необходима процедура концентрации ядер радона и их продуктов. Насыщение фильтра происходит через время порядка одного часа (см. рис. 3).

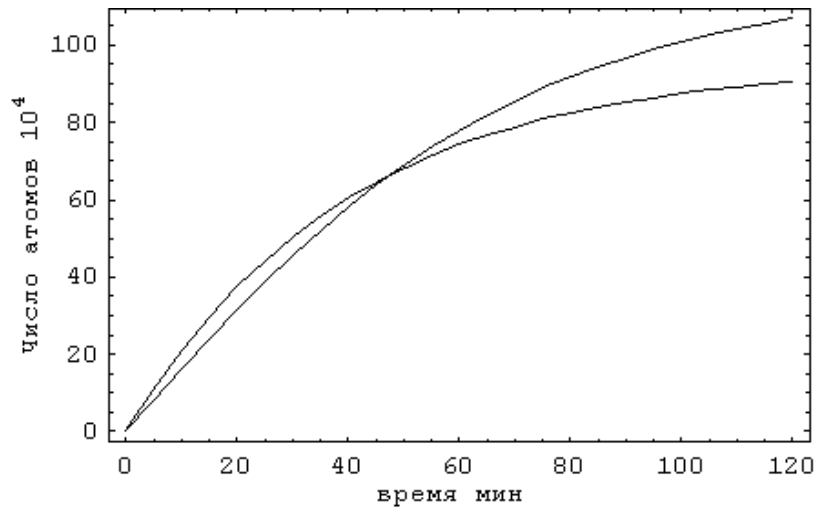


Рис. 3. Изменение числа атомов  $^{214}\text{Bi}$  (верхняя кривая) и  $^{214}\text{Pb}$  (нижняя кривая) на фильтре в зависимости от времени прокачивания воздуха помещения через аэрозольный фильтр (теоретическая кривая).

При этом продукты распада радона осевшие на фильтре, подчиняются дифференциальным уравнениям, (аналогично (3) и (5)):

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= -\lambda_1 X_1 + \lambda_2 Y_1, \\ \dot{Y}_1 &= -\lambda_2 Y_1 + \lambda_3 Z_1, \\ \dot{Z}_1 &= -\lambda_3 Z_1, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $X_0 = X(T)$  число атомов висмута после прекращения прокачки ( $T$  – время прокачки). Решение системы (7) с учетом начальных условий  $X_1(0) = X_0$ ,  $Y_1(0) = Y_0$ ,  $Z_1(0) = Z_0$ , имеет вид:

$$\begin{aligned} Z(t) &= Z_0 e^{-\lambda_3 t} \\ Y(t) &= Y_0 e^{-\lambda_2 t} - \frac{\lambda_3 Z_0}{\lambda_3 - \lambda_2} (e^{-\lambda_3 t} - e^{-\lambda_2 t}) \\ X(t) &= X_0 e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_2 Y_0}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}) + \\ &+ \frac{\lambda_3 \lambda_2 Z_0 (e^{-\lambda_3 t} - e^{-\lambda_1 t})}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_1)} - \frac{\lambda_3 \lambda_2 Z_0 (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t})}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_2 - \lambda_1)} \end{aligned} \quad (8)$$

Результаты теоретических расчетов представлены на рис.4.



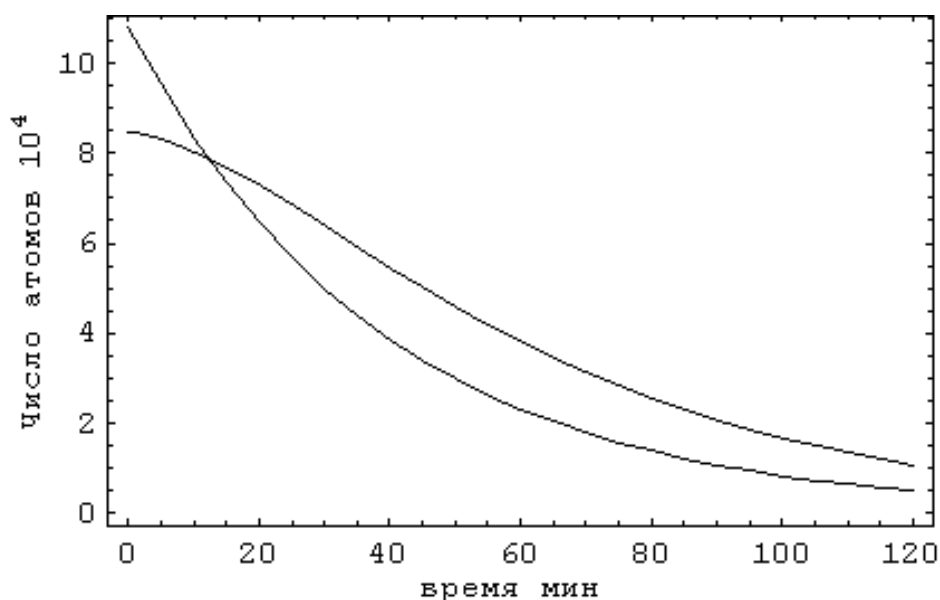


Рис. 4. Зависимости числа атомов  $^{214}\text{Bi}$  (верхняя кривая) и  $^{214}\text{Pb}$  (нижняя кривая) от времени после прекращения прокачивания воздуха через фильтр.

**Экспериментальная установка и проведение измерений.** Для сбора ДПР применялся аналитический аэрозольный фильтр из перхлорвинила АФА РСП-20. Эффективность фильтров АФА РСП-20 по паспорту составляет от 90% до 99.9% при скоростях прокачки от 170 см/с до 1 см/с соответственно. Скорость потока воздуха через фильтр, измеренная крыльчатым анемометром, с учетом накопления ДПР на фильтре изменялась от 1.15 до 1.1 м/с, что соответствует эффективности более 95%.

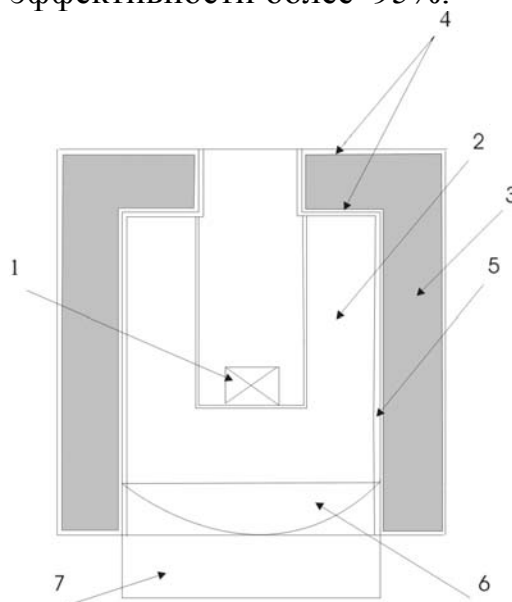


Рис. 5. 1. Образец.-аэрозольный фильтр АФА-РСП-20 2. сцинтиллятор  $\text{NaI}(\text{Tl})$  3. пассивная защита, свинец 5см. 4. стальной кожух. 5. пассивная защита, медь 3 мм. 6. ФЭУ 7. Предусилитель.

После прекращения “прокачки” фильтр помещался в колодец сцинтилляционного детектора БДЭГ-12, схема которого приведена на рис.5., и производилось измерение – гамма спектров продуктов распада.

На рисунке 6 приводятся результаты эксперимента по регистрации гамма-спектров ДПР радона в одной пробе воздуха, прокачанного через фильтр в течение 30 минут.

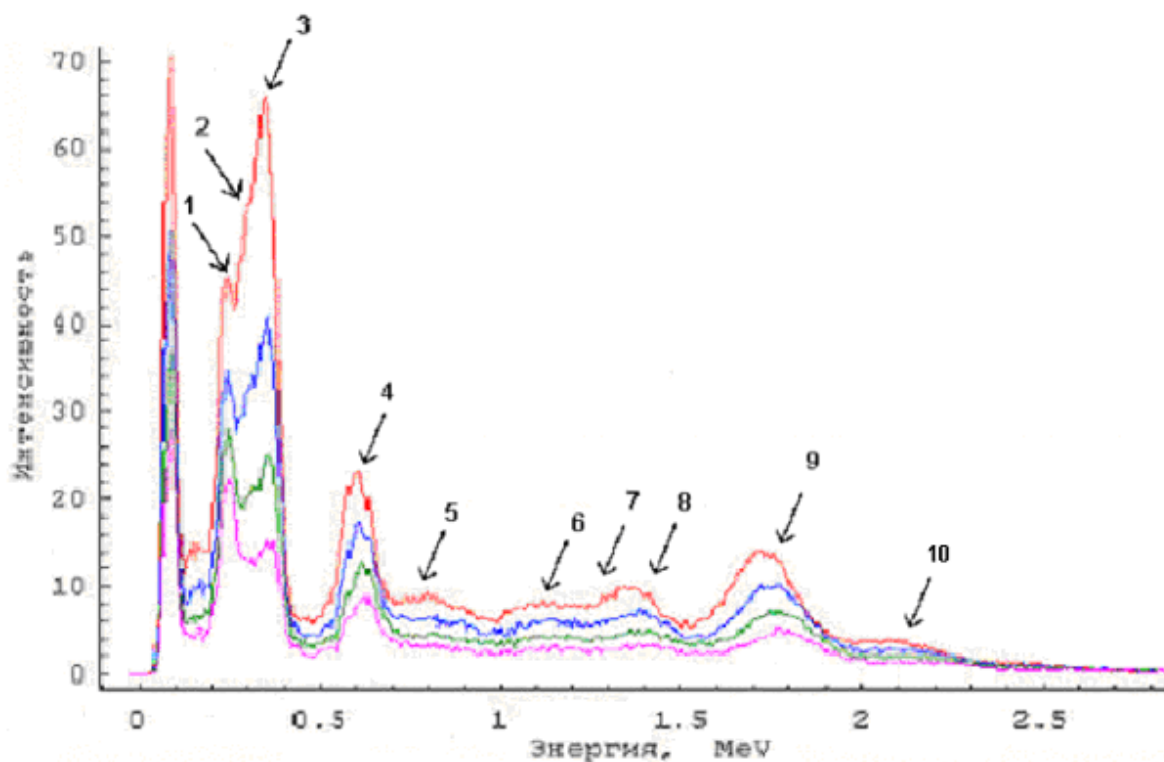


Рис. 6. Гамма спектры одной пробы воздуха при прокачке в течении 30 мин. Экспозиции по 10 минут набраны на большом кристалле NaI через 1, 21, 41, и 61 мин, после прекращения прокачки. Отчетливо видны гамма-линии дочерних продуктов:

- |                                  |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. – $^{214}\text{Pb}$ 0,242 МэВ | 2. – $^{214}\text{Pb}$ 0,295 МэВ | 3. – $^{214}\text{Pb}$ 0,352 МэВ |
| 4. – $^{214}\text{Bi}$ 0,609 МэВ | 5. – $^{214}\text{Bi}$ 0,769 МэВ | 6. – $^{214}\text{Bi}$ 1,12 МэВ  |
| 7. – $^{214}\text{Bi}$ 1,238 МэВ | 8. – $^{214}\text{Bi}$ 1,4 МэВ   | 9. – $^{214}\text{Bi}$ 1,764 МэВ |
| 10. – $^{214}\text{Bi}$ 2,12 МэВ |                                  |                                  |

Время экспозиции 10 минут, время между последовательными измерениями 20 минут. Было проведено 4 последовательных измерения, анализ которых показывает пропорциональное уменьшение количества регистрируемых гамма квантов в характерных пиках в области 242, 295, 352, 609, 1764, 2120 КэВ.

**Определение скорости поступления и концентрации радона.** На рис.7. приводятся результаты эксперимента по измерению гамма спектра продуктов распада радона на большом кристалле NaI в сравнении с теоретическим расчетом. Аэрозольный фильтр АФА РСР-20 экспонировался в сцинтилляционном спектрометре в течение десяти минут сразу после прекращения прокачки воздуха. Нижняя кривая соответствует теоретическому расчету.

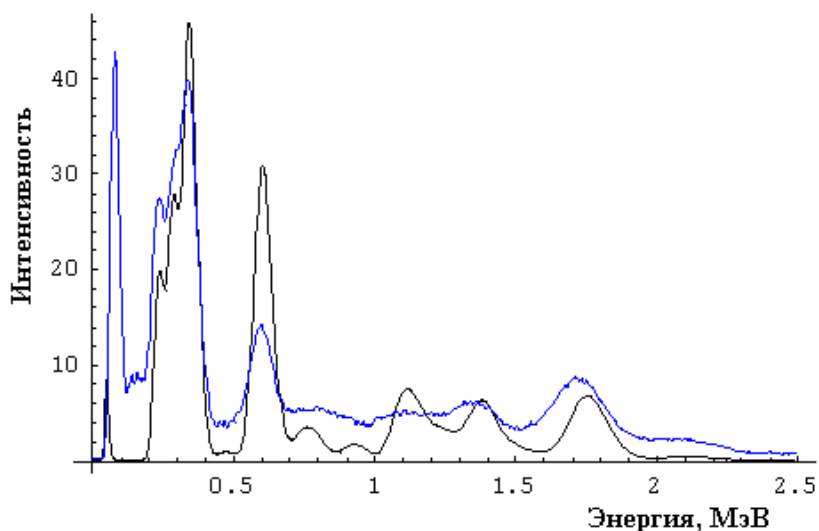


Рис.7. Гамма спектр продуктов распада радона 222. Верхняя кривая - экспериментальное значение, нижняя - теоретический расчет.

Сравнение экспериментально полученного числа распадов в гамма спектре продуктов распада радона, с рассчитанным теоретически при соответствующих временах прокачки и последующей экспозиции, дает значение скорости поступления  $u \approx 48 \frac{\text{атом}}{\text{л мин.}}$ , что соответствует альфа активности радона и его продуктов распада  $a = 3u \approx 2.4 \text{ Бк./л.}$ , концентрации радона  $n \approx 3.8 \cdot 10^5 \frac{\text{атом}}{\text{л}}$ .

Рассмотрим зависимость содержания радона-222 в помещении от изменения скорости его поступления. Пусть скорость поступления радона-222 меняется по закону  $U(t) = u_0 + \cos(\omega t)$  причем начальное его содержание равно нулю. Тогда концентрация радона в зависимости от времени задается как:

$$r(t) = \frac{\exp(-\lambda t)}{\lambda(\lambda^2 + \omega^2)} (-a\lambda^2 + u_0(\lambda^2 + \omega^2)(\exp(\lambda t) - 1) + a\lambda(\lambda \cos(\omega t) + \omega \sin(\omega t)))$$

Эта зависимость при разных частотах осцилляции скорости поступления радона, но при одинаковой их амплитуде отображена на рисунке 8.

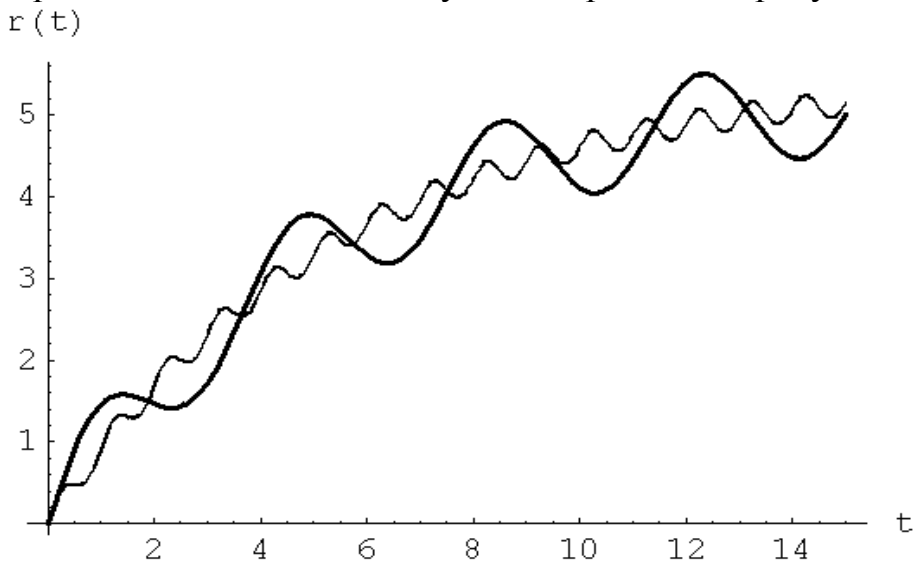


Рис. 8. Зависимость частоты колебаний концентрации радона от времени.

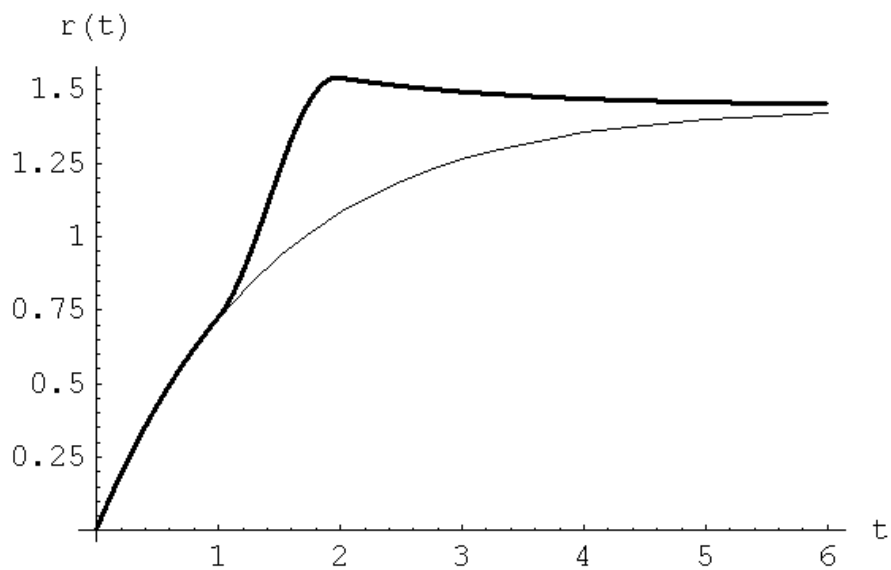


Рис. 9. Концентрация радона при скачкообразном изменении скорости его поступления на конечном интервале времени.

Из рисунка видно что с ростом частоты колебаний скорости поступления радона в воздух амплитуда колебаний его содержания уменьшается и при периоде колебаний меньше одного дня становится незначительной.

В качестве примера рассмотрим определение концентрации радона в течении суток.

**Заключение.** Рассмотренный в работе метод позволяет, на основе использования аналитических решений эволюционных уравнений для концентраций ДПР в воздухе и на фильтре, количественно определять содержание радона в воздухе, при выполнении следующих условий:

1) Использование кристалла достаточно большого размера, позволяющего реализовать 4- $\pi$  геометрию и высокую эффективность регистрации гамма квантов с энергиями выше одного МэВ.

2) Использование фильтров с известной эффективностью, с соответствующим объемом прокачиваемого воздуха таким что, активность накопленных на фильтре продуктов распада превышает естественный радиоактивный фон. При этом нецелесообразно, в виду насыщения, время прокачки большее чем период полураспада ДПР.

3) Достигнутая в данном методе точность, позволяет обнаруживать кратковременные (по сравнению с периодом полураспада) всплески концентрации радона, что может быть использовано для прогнозирования тектонической и сейсмической активности.

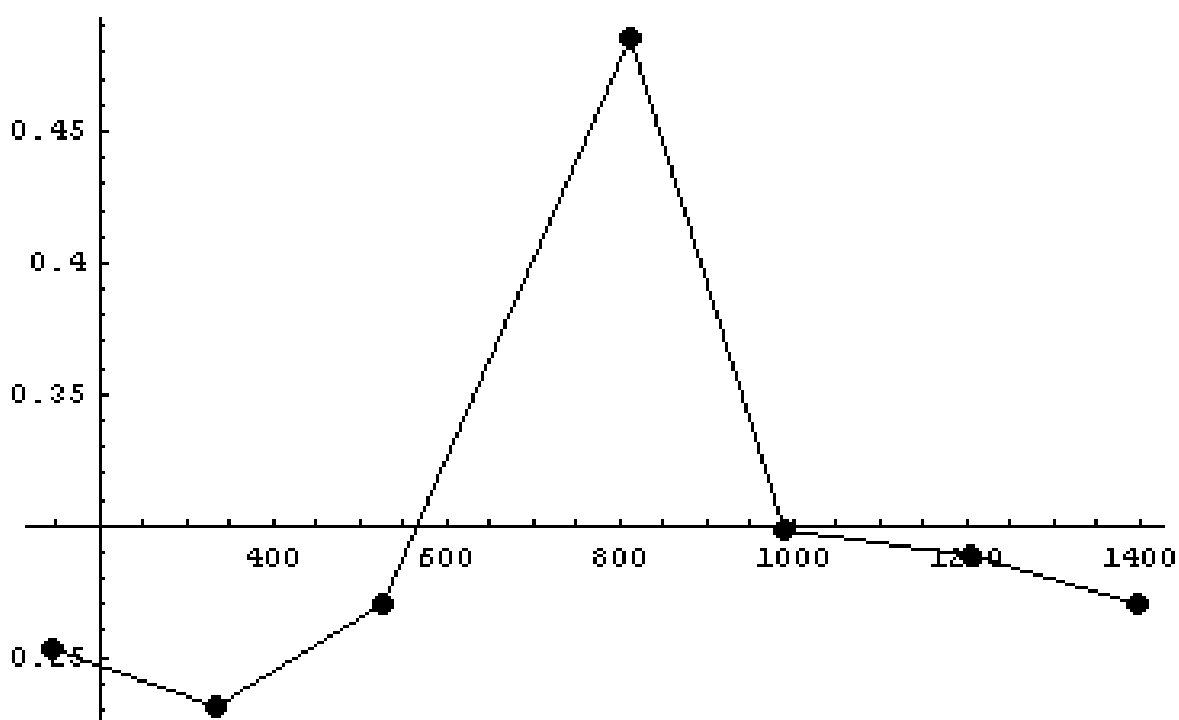


Рис. 10. Зависимость активности ДПР радона от времени суток. Максимум приходится на время 13.30 минимум на 5.30.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уткин В.И., Юрков. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетресения. Докл. РАН. 1998. Т. 358(5). С. 675-680.

2. Клапдор-Клайнгротхаус Г.В., Штаудт А. Неускорительная физика элементарных частиц: Пер. с нем. В.А. Беднякова. – М.: Наука Физматлит, 1997. – 528.с. – ISBN 5-02-015092-4

3. Бекман И.Н., Хасков М.А., Пасека В.И., Панаркина Л. Е., Рязанцев Г.Б. Вариации радиационного поля в северной части Азовского моря //Вестник МГУ, серия 2: химия, т.44 №2 (2003) 140-148

4. Kuzminov V.V., Nevinsky I.O. Rn-222 in Air and Water. Institute for Nuclear Research of The USSR Academy of Sciences Moscow 117 312, 60th October Prospect 7a, USSR

5. Pomansky A.A., Severny S.A., Trifonov E.P. Radium and radon content in different materials, Atomnaya Energiya 27, 36-38, 1969.

6. Быховский А.В., Чесноков Н.И., Покровский С.С., Хореев Г.Н., Югов П.И. Опыт борьбы с радоном при ведении горных работ. – Москва: Атомиздат, 1969.

7. Афонин А.А., Котляров А.А., Максимов А.Ю. Метод измерения коэффициента диффузии и скорости седиментации ДПР радона в атмосферном воздухе. ISBN 5-7262-0710-6. Научная сессия МИФИ-2007. Том 5.

## ABSTRACT

The problem of determining the  $^{222}\text{Rn}$  concentration in air from gamma-ray spectra of radon progeny is solved using the aerosol filters method. The systematic error of the method due to the incomplete collection of radon progeny is determined. It is shown that, when comparing the filter activity to the analytical calculation, the use of a  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  crystal and a  $4\pi$ -geometry makes it possible to measure the radon concentration with an accuracy of 15-20%. This accuracy allows to find out impermanent ejections of radon. It can be used for prediction of tectonic and seismic events.

## АННОТАЦИЯ

В рамках метода аэрозольных фильтров решена задача о количественном определении концентрации  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе по гамма спектрам дочерних продуктов распада. Применение сравнительно большого кристалла  $\text{NaI(Tl)} 20 \times 20 \text{ см}^2$ ,  $4\pi$  геометрии и аналитического решения уравнений для временной эволюции концентрации дочерних продуктов распада в воздухе и на фильтре, позволяет контролировать точность метода на уровне 15-20%. Такой точности достаточно, для обнаружения кратковременных (по сравнению с периодом полураспада) всплесков концентрации радона, что может быть использовано для прогнозирования тектонической и сейсмической активности.

© М.Б. Масаев, Ю.В. Савойский,  
М.А. Сижажев, А.Х. Хоконов, 2009

## СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЛЕЧЕБНО- ИСПРАВИТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

*Салтыкова А.Ю., Сиротюк Э.А.  
(Россия, г. Майкоп)*

Проблема чистой воды является одной из актуальнейших проблем наступившего века. Вода является важнейшим возобновляемым природным ресурсом. В последнее время природное равновесие стремительно нарушается – вода необратимо меняет свои качества, в результате чего резко обострилась проблема достаточного количества биологически полноценной воды. Одной из основных причин ухудшения качества воды является производственная и хозяйственно-бытовая деятельность человека, в ходе которой проводится сброс сточных вод в природные водоемы.

Существуют два основных пути очистки сточных вод: разбавление сточных вод и очистка их от загрязнений. Разбавление представляет собой санитарную меру, которая не ликвидирует воздействия сточных вод, а лишь ослабляет его на локальном участке водоема. Основной путь – очистка сточных вод от загрязнений на очистных сооружениях. В настоящее время разработаны и развиваются современные технологии очистки сточных вод. Наибольший интерес и перспективу имеют естественные и самые дешевые методы очистки – биологические методы, представляющие собой интенсификацию природных процессов разложения органических соединений, находящихся в сточных водах в виде тонких суспензий и коллоидов, микроорганизмами в аэробных или анаэробных условиях.

Очистные сооружения биологической очистки можно разделить на два основных типа: 1) сооружения, в которых очистка происходит в условиях, близких к естественным; 2) сооружения, в которых очистка происходит в искусственно созданных условиях. К первому типу относятся сооружения, в которых происходит фильтрование очищаемых сточных вод через почву (поля орошения и поля фильтрации) и сооружения, представляющие собой водоемы (биологические пруды) с проточной водой. В таких сооружениях дыхание микроорганизмов происходит за счет непосредственного поглощения кислородом из воздуха. В сооружениях второго типа микроорганизмы дышат кислородом главным образом за счет его диффундирования через поверхность воды (реаэрация) или за счет механической аэрации. В искусственных условиях биологическую очистку применяют в аэротенках, биофильтрах и аэрофильтрах. В этих условиях процесс очистки происходит более интенсивно, так как создаются лучшие условия для развития активной жизнедеятельности микроорганизмов [3].

В аэротенках органические соединения превращаются в хлопьевидные скопления – активный ил. Активный ил – это антропогенная экосистема, которая создается в ограниченном пространстве аэротенков в условиях избытка кислорода и довольно высокой нагрузки по органическим

загрязнителям. Большая насыщенность сточных вод активным илом и непрерывное поступление кислорода обеспечивают наиболее полное биохимическое окисление органических веществ.

В активном иле присутствуют все основные физиологические группы микроорганизмов, обеспечивающие разложение углерод-, азот-, фосфор-, серосодержащих веществ и других соединений. В биоценозах активного ила развиваются представители семи отделов микрофлоры (бактерии; грибы; актиномицеты; диатомовые, зеленые, эвгленовые и вольвоксовые водоросли), а также девяти таксономических групп простейших и многоклеточных животных (первичнополостные, вторичнополостные и брюхохоресничные черви; коловратки, тихоходки, паукообразные, например, водные клещи; жгутиконосцы, инфузории, саркодовые). Биоценотической особенностью активного ила является отсутствие в нем первичных продуцентов (за исключением хемоавтотрофных бактерий), поскольку органическое вещество поступает со сточными водами в готовом виде.

В процессах деградации загрязняющих веществ в аэротенках основная роль принадлежит гетеротрофным флокулообразующим бактериям. Осмотрофные бактерии также принимают участие в этом процессе, но их роль усиливается только при ослаблении звена флокулообразующих бактерий и снижении конкуренции за потребление растворенных органических веществ (в случае гибели). Флокулообразующие бактерии – это множество клеток микроорганизмов, объединенных биополимерным гелем в хорошо защищенное и организованное структурно-функциональное целое – хлопья активного ила. Популяции флокулообразующих бактерий составляют 90-97%, их функциональное состояние, активность и адаптированность к экологическим условиям аэротенков определяют устойчивость и эффективность биохимического окисления загрязняющих веществ, присутствующих в сточных водах [4].

Сточные воды, даже пройдя очистные сооружения, могут содержать токсичные химические вещества, которые способны нанести значительный ущерб водной экосистеме и, следовательно, здоровью населения. Токсичность воды можно оценить с помощью физико-химических и биологических методов. Биологические методы можно условно разделить на методы биоиндикации и биотестирования. Методы биотестирования позволяют дать реальную оценку токсических свойств воды, обусловленных присутствием загрязняющих веществ. Методы биоиндикации основаны на способности отдельных видов – видов-биоиндикаторов – показывать своим развитием и существованием в воде на ее степень загрязнения. Пионерами в создании системы показательных организмов для оценки степени загрязнения вод были R. Kolkwitz, M. Marsson [2]. Согласно их представлениям, многие животные и растения являются сапробионтами (от греч. *sargos* – гнилой): для развития им необходимо гниющее органическое вещество. Оптимум для различных видов может находиться на разных ступенях его распада. Массовое появление определённых видов может служить показателем, как степени самоочищения, так и загрязнения водоёма.



Методы биоиндикации качества воды можно разделить на три группы. Первую группу составляют те из них, в которых результаты биологического анализа истолковываются на основе индикаторного значения обнаруженных организмов. Ко второй группе относятся способы оценки степени загрязнения по видовому разнообразию населения обследуемого водоёма. В третью группу входят методы, в которых учитывается как индикаторное значение организмов, так и видовое разнообразие. В данной работе рассматривается первый вид биологического анализа – биологическая индикация.

Объектом исследования являются сточные воды Лечебного исправительного учреждения № 8 (ЛИУ), которое находится в пос. Двубратский Усть-Лабинского района Краснодарского края. Данное учреждение является специфическим. Его основной вид деятельности – содержание под стражей осужденных, в том числе больных инфекционными заболеваниями, для отбывания срока наказания, вынесенного им судом.

Сточные воды учреждения формируются из промышленных, бытовых и биологических стоков. Без предварительной очистки по коллектору самотеком сточные воды направляются к канализационной насосной станции перекачки, где проходят через решетку, предназначенную для задержки крупных отходов, далее стоки перекачиваются в приемный лоток локальных очистных сооружений канализации и на аэротенки. Стоки из аэротенков поступают во вторичный отстойник для отделения взвешенных веществ. Осадок после механической очистки, поддается на иловую площадку, состоящую из трех карт, где происходит его обезвоживание. Далее условно чистая вода подается для доочистки в биопруд. Для обезвреживания сточных вод применяют хлорную известь, которая привозится в полиэтиленовых мешках, растворяется в воде и капельным способом подается в приемник очищенных сточных вод перед их перекачкой в пруд.

Эффективность биологической очистки можно проверить с помощью визуального и инструментального анализов некоторых физических и санитарно-токсикологических показателей сточной воды. Следует отметить, что сигнал о «неблагополучии» на очистных сооружениях индикаторные организмы дают значительно раньше, чем изменяются данные гидрохимических анализов. Так, «вспышка» *Gromia neglecta* предупреждает о токсичности поступающих на очистные сооружения сточных вод за 10-15 дней до ухудшения состава очищенных вод [1].

Причины многочисленных отклонений от оптимального режима биологической очистки могут быть различными. Во-первых, поступающие сточные воды неблагоприятны для биологической очистки (токсичные, несбалансированные по элементам питания и т.п.). Во-вторых, нарушение режима эксплуатации очистных сооружений (несвоевременная выгрузка осевшего ила в аэротенк, недостаточная аэрация ила и т.п.). И те, и другие причины отражаются на составе, численности и активности физиологических процессов биологических индикаторов активного ила.

Важнейшим фактором, воздействующим на интенсивность обмена веществ у организмов активного ила, а, следовательно, на эффективность биохимического окисления, является температура очищаемой воды. Диапазон температур для обеспечения процесса нитрификации должен быть в пределах 20-25° С.

Наиболее оперативным, чутко реагирующим на нарушения, показателем качества воды является ее прозрачность. Мерой прозрачности служит высота столба воды, при которой сквозь нее можно читать шрифт определенного размера и типа. Обычно бытовые стоки, поступающие на очистку, имеют прозрачность 1-5 см. Биологическая очистка должна обеспечивать не менее 12 см прозрачности очищенной воды.

Одним из главных биогенных элементов является азот. Поступление большого количества азота в водные объекты приводит к их эвтрофированию. В них накапливаются питательные вещества, что ведет к нарушению процессов саморегуляции в биоценозах, в них начинают доминировать виды, наиболее приспособленные к изменившимся условиям, вызывая «цветение» воды. ПДС очистных сооружений по нитратам составляет 9,1 мг/л [4].

Естественное содержание хлоридов в природных водах имеет большой диапазон колебаний. Содержание хлоридов в сточной воде практически не меняется по ходу биологической очистки. Порог по хлоридам для благополучия бактериальных клеток определен в 30000 мг/дм<sup>3</sup>.

Естественное содержание сульфатов в поверхностных водах обусловлено выветриванием пород. В производственных сточных водах их содержание может достигать нескольких граммов в литре. В аэробных условиях аэротенков количество сульфатов не меняется, а в анаэробных сульфаты восстанавливаются до сульфидов, что иногда наблюдается в сточных водах, подверженных застою и гниению.

При приеме сточных вод в системы канализации недопустимо изменение активной реакции среды в ту или иную сторону от 6,5 и 9,0. Для удовлетворительной работы активного ила необходима нейтральная реакция среды (рН = 6,7-7,8). Понижение величины рН сточной воды приводит к снижению интенсивности обмена веществ бактерий, дефлокуляции и плохой осаждаемости активного ила, а при падении рН ниже 5,0 бактерии антагонистически вытесняются грибами. Увеличение рН до 8,5 и выше приводит к гибели микроорганизмов.

Таким образом, гидрохимические показатели качества очистки сточных вод на сооружениях биологической очистки важны для развития сообществ активного ила.

Исследования качества сточных вод ЛИУ проводились нами с ноября 2007 г. по октябрь 2008 г. Для проведения инструментального анализа пользовались «Руководством по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем» [5]. В результате получены следующие усредненные результаты (таблица).

Температура сточных вод оказалась равной 22,3° С. По прозрачности их можно отнести к сильно мутным, т.к. шриффт, расположенный на расстоянии 4 см от дна цилиндра, становится видным только при полном спускании пробы. Это свидетельствует о низкой степени очистки воды. В сточных водах ЛИУ находится повышенное содержание нитратов, концентрации хлоридов и сульфатов находятся на верхней допустимой границе. Концентрация водородных ионов в сточных водах оказалась равной 8,5. Вода с такими показателями является неблагоприятной средой для бактериальных клеток, она подвержена застою и гниению.

Таблица – Результаты лабораторного контроля качества сточных вод ЛИУ

| Физические и химические показатели сточной воды |              |     |         |               |          |
|-------------------------------------------------|--------------|-----|---------|---------------|----------|
| температура                                     | прозрачность | pH  | нитраты | хлориды       | сульфаты |
| 22,3° С                                         | 0            | 8,5 | 25 мг/л | 31000<br>мг/л | 110 мг/л |

Это подтверждается серой окраской воды с сильно выраженным неприятным запахом, а также отсутствием флокулообразующих бактерий. В осадке отмечены цианобактерии, хламидобактерии, нитчатые бактерии, серобактерии, вольвоксовые водоросли, бесцветные жгутиконосцы, свободноплавающие инфузории. Присутствие цианобактерий в водах свидетельствует о большом количестве азота и фосфора, хламидобактерий – дефиците растворенного кислорода, серобактерий – наличии сероводорода, вольвоксовых водорослей – щелочности среды и ее токсичности, бесцветных жгутиконосцев и нитчатых бактерий – нарушении аэрации и высокой степени загрязненности сточных вод, свободноплавающих инфузорий – нарушении циркуляции ила в системе. Кроме того, в составе стоков обнаружены болезнетворные и паразитирующие микроорганизмы: палочки Коха, холеры и дизентерии; лямблии, глисты, паразитические грибки, вирусы, хламидии.

Таким образом, проведенные нами исследования позволяют утверждать, что в настоящее время очистные сооружения канализации ЛИУ работают неэффективно из-за отсутствия глубокой биологической очистки сточных вод. Необходимо привести в рабочее состояние аэротенки для разведения сообществ активного ила. Биологическим путем (с участием микроорганизмов) перерабатывать загрязнения, находящиеся в воде в растворенном, нерастворенном и коллоидном состояниях. Использовать все известные метаболические особенности микроорганизмов: биоценозы, развивающиеся в аэробных и анаэробных условиях, в условиях средних и высоких температур; с гетеротрофным и автотрофным типами питания, сочетающие симбиотические и метабиотические отношения. Хлорсодержащие соединения, применяющиеся в настоящее время для обеззараживания сточных вод, чрезвычайно опасны для водных экосистем и

здоровья человека, поэтому можно проводить безреагентное обеззараживание сточных вод с использованием естественного потребителя бактериальной флоры – дафний. Выращивая дафнии в сточных водах, можно быть уверенными в том, что данные стоки не обладают острой токсичностью.

Для ЛИУ рекомендуется следующая схема очистных сооружений биологической очистки: с насосной станции сточные воды поступают в приёмную камеру очистных сооружений канализации предназначенной для механической очистки, включающую в себя ручные решетки для задержки крупного мусора. Далее через распределительную камеру сточные воды поступают в песколовку с круговыми движениями воды, где происходит выпадение осадка в виде крупных минеральных частиц (пульпа). Пульпа по пульпопроводу откачивается в пековые бункера, откуда после водоотделения периодически выгружается песок.

Сточные воды, прошедшие песколовку направляются на первичные отстойники. Затем частично осветленная жидкость поступает на блок биологической очистки – аэротенки. Во вторичном отстойнике происходит разделение воды и активного ила. Необходимое количество ила возвращается в начало аэротенка, где происходит его смешивание с поступающими стоками. Часть избыточного активного ила направляется в минерализатор, в котором происходит полное окисление органической части ила, что улучшает его способность отделять воду. Далее минерализованный ил подаётся на иловые площадки, где подвергается сушке в естественных условиях. Очищенная сточная вода поступает на обеззараживание биологическим способом. Доочистка сточных вод проводится в биопрудах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева и др.; под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.
2. Вислоух, С.М. К вопросу о применимости показательных организмов Kolkwitz'a, M. Marsson'a в России / С.М. Вислоух // Журнал микробиологии. – 1916. – Т. III. – С. 377-386.
3. Голубовская, Э.К. Биологические основы очистки воды / Э.К. Голубовская. – М.: Высш. шк., 1978. – 268 с.
4. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М.: АКВАРОС. – 2003. – 512 с.
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.

## **ABSTRACT**

The condition of biological purification of the sewage of medical corrective institution № 8 located in Krasnodar region is examined. It is proposed to reconstruct operating facilities of the water drain to utilize deep biological purification and biological decontamination of the effluent.

## **АННОТАЦИЯ**

Рассматривается состояние биологической очистки сточных вод лечебно-исправительного учреждения № 8 Краснодарского края. Предлагается произвести реконструкцию действующих очистных сооружений канализации для проведения глубокой биологической очистки и биологического обеззараживания сточных вод учреждения.

© А.Ю. Салтыкова,  
Э.А. Сиротюк, 2009

## ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО АБИОТИЧЕСКИМ КОМПОНЕНТАМ ЭКОСИСТЕМЫ Р. БЕЛАЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

*Сиротюк Э.А., Тах И.П., Тороян Р.А.  
(Россия, г. Майкоп, г. Нальчик)*

В списках важнейших групп загрязняющих веществ одно из первых мест занимают тяжелые металлы, соединения которых не подвергается деструкции в природных водах, а лишь изменяют формы существования. Это приводит к изменению миграционной способности тяжелых металлов, токсических свойств и доступности для гидробионтов, а, следовательно, их экологической роли в водных объектах. Известно, что в определенных концентрациях они не только влияют на качество пресных вод, но и становятся токсичными для ихтиофауны и аккумулируются в их тканях. По трофическим путям металлы могут попасть в организм человека.

Попадающие в водный объект различными путями тяжелые металлы в результате гидролиза, сорбции, десорбции, комплексообразования, осаждения и биопоглощения переходят из водной фазы в твердый скелет взвесей и донных отложений, осаждаются в виде труднорастворимых соединений и вновь переходят в водный раствор.

Тяжелые металлы, поступающие в донные отложения в результате процессов сорбции и седиментации, не выводятся из биогеохимического цикла миграции: при изменении физико-химических условий, прежде всего окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных, а также вследствие жизнедеятельности бентоса тяжелые металлы могут возвращаться в водную массу.

В результате комплекса постседиментационных процессов, которые условно подразделяются на абиотические и биотические, возможна активная ремобилизация тяжелых металлов. Постседиментационные процессы часто приводят к увеличению содержания тяжелых металлов в поровых растворах донных отложений и созданию градиента концентрации между водной массой и поровым раствором.

Одной из проблем р. Белая (Северо-Западного Кавказа) является загрязнение ее водной среды тяжелыми металлами. В литературе отсутствует количественная оценка антропогенных и природных факторов, определяющих источник поступления тяжелых металлов в речную сеть, нет данных по влиянию морфометрических характеристик реки, гидрологических, гидробиологических и физико-химических показателей на межфазовое распределение веществ в системе вода – донные отложения.

Цель проведенных работ – получение количественных данных для сравнительной характеристики и оценки степени загрязнения тяжелыми металлами различных компонентов экосистемы р. Белая, изучение особенностей распределения и форм нахождения тяжелых металлов.

### ***Материал и методика исследования***

Отбор проб проводился весной 2006 г, по общепринятой методике [2]. Пробы воды фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм, с фильтра взвешенное вещество смывали (1 М)  $\text{HNO}_3$ , раствор упаривали при слабом нагреве и разлагали смесью кислот  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2 = 2:1:1:2$ . Пробы донных отложений реки отбирались на глубине 0 - 10 см от поверхности залегания. Образцы донных отложений высушивались при комнатной температуре. Пробы измельчались, с помощью капроновых сит разделялись на две гранулометрические фракции с диаметром ячеек 1.0 – 0.25 мм и < 0.25 мм и разлагались смесью кислот аналогично методике анализа взвешенных веществ. Следует отметить, что по приведенной методике во взвешенных веществах и донных отложениях определяются подвижные формы тяжелых металлов, т.е. сорбированные [12]. Также проводился наиболее экологически значимый для данного объекта отбор проб в глубоких слоях колонок 10 – 20 см и 20 – 30 см, что позволило определить фоновые концентрации тяжелых металлов. В ходе исследований определялись также гидрохимические показатели: рН, взвешенные вещества, окислительно-восстановительный потенциал (Eh).

Определение концентрации тяжелых металлов в воде, взвешенном веществе и донных отложениях проводилось атомно – абсорбционным методом: Pb и Cu - на спектрометре «КВАНТ – Z.ЭТА» (чувствительность  $10^{-9}$ –  $10^{-12}$  мкг/л), Fe, Mn и Zn – на спектрометре «КВАНТ – АФА» (чувствительность  $10^{-6}$  –  $10^{-9}$  мкг/л). Всего проведено 1610 определений. Измерения проводились в 3-х кратной повторности. Относительная ошибка в пределах 0,01 – 5%. Статистическая обработка данных осуществлена с помощью программы "Excel": определены средняя арифметическая концентрация, погрешность анализа, коэффициенты корреляции, критерий достоверности различий, соотношение форм содержания тяжелых металлов.

### ***Результаты и их обсуждение***

На протяжении всего участка исследований придонная вода р. Белая характеризуется слабоокислительными и окислительными свойствами. Наиболее низкие величины окислительно-восстановительного потенциала (от 62 до 267 мВ), зарегистрированные на предгорном и приустьевом участках (пос. Министочник – аул Адамий), обычно соответствуют районам с повышенными значениями рН (7.8 – 9.0).

Содержание тяжелых металлов в придонной воде р. Белой специфично для каждого из металлов, однако пространственное распределение их концентраций неравномерно. По величине концентрации элементы располагаются в следующей последовательности:  $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb}$ , которая выдерживается для всех изученных створов (табл. 1). По мере приближения к устьевой зоне концентрация тяжелых металлов в придонной воде незначительно увеличивается.

**Таблица 1. Среднее содержание тяжелых металлов в придонной воде р. Белая и физико-химические характеристики для исследованных участков**

| Параметр,<br>элемент | Контрольные створы |                           |                        |                                |                                      |                      |                                |                     |
|----------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------|
|                      | Исследуем<br>ые    | корд.<br>Лагерный<br>(71) | ст. Даховская<br>(106) | пос. Министо-<br>чник<br>(159) | пос. Красноок-<br>тябрьский<br>(173) | ст. Ханская<br>(192) | аул Бжедуг -<br>хабль<br>(219) | аул Адамий<br>(275) |
| pH                   |                    | 7.95                      | 7.97                   | 8.05                           | 8.11                                 | 8.32                 | 7.87                           | 8.12                |
| Eh, mB               |                    | + 253                     | + 307                  | + 62                           | + 203                                | + 121                | + 267                          | + 176               |
| Fe                   |                    | 453.0 ± 114.0             | 1374.0 ± 344.0*        | 814.0 ± 204.0                  | 1143.0 ± 286.0*                      | 1570.0 ± 393.0*      | 783.0 ± 196.0                  | 220.0 ± 0.55.       |
| Mn                   |                    | 15.3 ± 0.38               | 94.0 ± 2.35*           | 37.6 ± 0.94*                   | 12.5 ± 0.31                          | 46.8 ± 0.59*         | 33.4 ± 0.84*                   | 31.2 ± 0.78         |
| Pb                   |                    | 1.11 ± 0.38               | 1.27 ± 0.45            | 1.65 ± 0.58                    | 0.95 ± 0.33                          | 1.58 ± 0.55          | 1.31 ± 0.46                    | 1.81 ± 0.63         |
| Cu                   |                    | 6.23 ± 2.49               | 4.85 ± 1.94            | 2.02 ± 0.81                    | 6.09 ± 2.43                          | 3.99 ± 1.59          | 4.45 ± 1.78                    | 3.14 ± 1.26         |
| Zn                   |                    | 13.2 ± 3.3                | 21.13 ± 5.3            | 10.69 ± 2.7                    | 14.49 ± 5.8                          | 12.74 ± 5.1          | 13.81 ± 5.5                    | 14.62 ± 5.8         |
| Fe                   | Взвешенное         | 388.6 ± 97.1              | 421.6 ± 105.4          | 449.63 ± 112.40                | 1132.1 ± 283.0*                      | 19.319 ± 4.83*       | 31.10 ± 7.77*                  | 98.59 ± 24.64*      |
| Mn                   | Вещество           | 18.29 ± 4.57              | 9.96 ± 2.49            | 15.53 ± 3.88                   | 36.09 ± 9.02                         | 3.42 ± 0.85*         | 1.65 ± 0.41*                   | 1.06 ± 0.26*        |
| Pb                   | Вещество           | 0.930 ± 0.04              | 0.467 ± 0.02*          | 4.59 ± 1.97*                   | 0.309 ± 0.013*                       | 2.424 ± 0.104*       | 1.43 ± 0.062*                  | 4.04 ± 0.176*       |
| Cu                   | Вещество           | 8.199 ± 0.279             | 5.095 ± 0.173*         | 6.796 ± 0.231*                 | 4.840 ± 0.165*                       | 0.499 ± 0.017*       | 0.47 ± 0.016*                  | 0.658 ± 0.02*       |
| Zn                   | Вещество           | 10,34 ± 0,35              | 7,213 ± 0,245*         | 34,77 ± 1,182*                 | 10,61 ± 0,361                        | 1,628 ± 0,055*       | 1,85 ± 0,063*                  | 6,78 ± 0,231*       |

*Примечание:* \* Содержание тяжелых металлов в придонной воде (в мкг/л) и взвешенных веществ (в мг/кг), в скобках указано расстояние от истока р. Белая (км), \* - различия достоверны (P < 0.05).



Отмечаются достоверные различия по сравнению с кордоном Лагерным по содержанию Fe ( $t= 2.24-2.73$ ) в придонной воде створов ст. Даховская, пос. Краснооктябрьский и ст. Ханская, и содержанию Mn ( $t= 2.0-4.49$ ) – створы ст. Даховская, пос. Министочник, ст. Ханская и аул Бжедугхабль.

Результаты исследования позволили установить, что преобладание изученных тяжелых металлов обнаруживается в составе взвешенных частиц, что обусловлено химическими свойствами этих металлов, ионы которых активно сорбируются природными адсорбентами [6,7]. Удельная концентрация таких металлов, как Pb, Fe, Mn и Zn, максимальна во взвешенных веществах на участках предгорной зоны Северо-Западного Кавказа и высоко достоверно ( $t = 5.82-22.8$ ) превышает фон (кордон Лагерный): пос. Министочник - для Pb (5 раз) и Zn (3 раза), пос. Краснооктябрьский – для Fe (3 раза) и Mn (2 раза). К факторам, усиливающим накопление тяжелых металлов во взвешенном веществе, можно отнести уменьшение pH и изменение редокс условия [16]. Наибольшее содержание Fe и Mn во взвешенном веществе на участке отбора пос. Краснооктябрьский, объясняется тем, что свободные (гидратированные) ионы  $Mn^{2+}$  и  $Fe^{2+}$  неустойчивы в аэробных условиях при pH 8.0 – 8.5, характерных для данного участка р. Белая, и окисляются до оксидов различного состава. Образующиеся при этом мельчайшие частицы оксидов марганца и железа обладают сильными адсорбционными свойствами. В процессе осаждения этих частиц с ними осаждаются и некоторая часть ионов других металлов, в том числе  $Mn^{2+}$  и  $Fe^{2+}$ . Преобладание марганца в составе оксидной фракции предопределяет достаточно большую его подвижность и способность к обмену в системе донные отложения - вода при возникновении соответствующих условий. Миграционная подвижность марганца резко возрастает при дефиците растворенного кислорода в контактирующей воде и при снижении pH и Eh, на границе раздела твердой и жидкой фаз. В этих условиях происходит восстановление оксидов марганца до более низких степеней окисления и их растворение. Оценивая подвижность железа и возможную интенсивность его обмена в системе донные отложения - вода, можно предположить, что она будет гораздо ниже, чем марганца. Это связано с тем, что вначале происходит восстановление окисленных форм марганца до более низких степеней и их растворение, а затем восстанавливается железо, находящееся в составе оксидов и гидроксидов. При этом процесс восстановления не является чисто химическим, так как теснейшим образом связан с деятельностью донной микрофлоры.

При сопоставлении концентрации тяжелых металлов во взвешенном веществе с мутностью воды для всех изучаемых металлов наблюдается четкая пропорциональная зависимость: с уменьшением мутности увеличивается удельное содержание металла во взвешенном веществе. Этот факт можно объяснить тем, что обычно при уменьшении мутности воды в реке в составе ее взвешенных веществ увеличивается доля мелких фракций, имеющих большую относительно крупных фракций удельную площадь

поверхности. Поэтому по значению удельной концентрации тяжелых металлов во взвешенном веществе нельзя однозначно судить о существующей на изучаемый момент времени экологической нагрузке.

Установлена отрицательная корреляция между уровнем содержания изученных металлов во взвешенных веществах и мутностью ( $r = -0.10 - -0.98$ ). Предположительно, это связано с тем, что частицы меньших размеров во взвешенных веществах характеризуются, высокой сорбционной емкостью в условиях высоких скоростей длительное время находятся в русловом потоке и играют определяющую роль в межфазовом распределении тяжелых металлов в системе вода – взвешенные вещества. Уменьшение скорости течения реки, характерное для предгорных участков р. Белой и устьевой зоны, приводит к существенному уменьшению количества взвешенных веществ и входящих в их состав тяжелых металлов (по сравнению с горной частью) в речном потоке за счет седиментации и депонирования в донные отложения.

В табл. 2 представлены данные по содержанию тяжелых металлов в двух фракциях (1.0 – 0.25 мм и < 0.25 мм) донных отложениях р. Белой. В исследуемых пробах содержание всех металлов находятся на фоновом уровне, исключение составляют лишь отдельные точки отбора, где их содержание достоверно превышает уровень фона (кордон Лагерный): Zn - в донных отложениях на участке пос. Министочник (крупная фракция  $t = 4.56$ , мелкая фракция  $t = 6.27$ ), аул Бжедугхабль (мелкая фракция  $t = 4.36$ ), Pb – на створе пос. Министочник (крупная фракция  $t = 3.0$ ), Fe (крупная фракция  $t = 2.1-2.28$ , мелкая фракция  $t = 2.29-2.52$ ) и Cu (мелкая фракция  $t = 3.63-5.79$ ) – в нижнем течении р. Белая (от ст. Ханская до аула Адамий).

Содержание исследованных металлов в донных отложениях значительно больше, чем в воде. По величине концентраций металлы располагаются в следующий убывающий ряд: Fe > Mn > Zn > Pb > Cu. Система донные отложения – придонная вода достаточно сложна, основные определяющие ее факторы – это окислительно-восстановительные процессы, наличие комплексообразователей, величины рН, температуры и др. Более высокие значения рН и окислительно-восстановительного потенциала придонных слоев воды затрудняют переход металлов из отложений в водную толщу. Последнее, подтверждает аккумулялирующую роль донных отложений и вывод о том, что в р. Белая миграция тяжелых металлов в системе вода - донные отложения идет сверху вниз.

По мнению авторов [10, 14, 15, 18, 19], решающую роль на формы нахождения и уровень содержания металлов в донных отложениях и взвешенных веществах оказывают рН среды и сульфат-сульфидное равновесие, которое, в свою очередь, определяется окислительно-восстановительными условиями донных отложений. Изменение окислительно-восстановительных условий в донных отложениях приводит к изменению валентности металлов и форм нахождения для природных вод любого типа, независимо от их химического состава или гидрологического режима [17].

**Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях р. Белая, мг/кг сухого веса**

| Элемент | Створ                  | Еh, мВ | рН   | Гранулометрическая фракция<br>(глубина отбора 0- 10 см), мм |                     | Фон<br>( глубина<br>20 – 30 см) |
|---------|------------------------|--------|------|-------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------|
|         |                        |        |      | 1.0 – 0.25                                                  | < 0.25              |                                 |
| Fe      | <b>кордон Лагерный</b> | + 229  | 7.51 | 727.708 ± 181.927                                           | 704.281 ± 176.070   | 745.001 ± 186.250               |
|         | ст. Даховская          | + 346  | 7.52 | 700.444 ± 175.111                                           | 711.944 ± 177.986   | 714.600 ± 178.650               |
|         | пос. Министочник       | + 149  | 7.53 | 691.310 ± 172.827                                           | 723.214 ± 180.804   | 640.367 ± 160.092               |
|         | пос. Краснооктябрьский | + 167  | 7.54 | 380.065 ± 95.016                                            | 356.680 ± 89.170    | 349.653 ± 87.413                |
|         | <b>ст. Ханская</b>     | + 61   | 7.95 | 1699.993 ± 424.998*                                         | 1822.666 ± 455.667* | 1721.596 ± 430.399              |
|         | <b>аул Бжедугхабль</b> | + 191  | 8.27 | 1869.014 ± 467.253*                                         | 2096.447 ± 524.112* | 1524.909 ± 381.227              |
| Mn      | аул Адамий             | + 167  | 8.30 | 1870.499 ± 467.625*                                         | 1983.624 ± 495.906* | 2047.467 ± 511.867              |
|         | <b>кордон Лагерный</b> | + 229  | 7.51 | 112.865 ± 28.216                                            | 57.826 ± 14.457     | 74.193 ± 18.548                 |
|         | ст. Даховская          | + 346  | 7.52 | 101.102 ± 25.276                                            | 106.318 ± 26.579    | 106.986 ± 26.746                |
|         | пос. Министочник       | + 149  | 7.53 | 67.974 ± 16.994                                             | 64.666 ± 16.167     | 45.633 ± 11.408                 |
|         | пос. Краснооктябрьский | + 167  | 7.54 | 53.097 ± 13.274                                             | 60.479 ± 15.120     | 56.122 ± 14.030                 |
|         | <b>ст. Ханская</b>     | + 61   | 7.95 | 91.674 ± 22.919                                             | 88.144 ± 22.036     | 84.792 ± 21.198                 |
| Pb      | <b>аул Бжедугхабль</b> | + 191  | 8.27 | 96.014 ± 24.003                                             | 98.288 ± 24.572     | 62.392 ± 15.598                 |
|         | аул Адамий             | + 167  | 8.30 | 98.969 ± 24.742                                             | 101.085 ± 25.271    | 110.140 ± 27.535                |
|         | <b>кордон Лагерный</b> | + 229  | 7.51 | 9.266 ± 0.399                                               | 9.632 ± 0.414       | 10.573 ± 0.454                  |
|         | ст. Даховская          | + 346  | 7.52 | 9.911 ± 0.426                                               | 9.347 ± 0.402       | 10.095 ± 0.434                  |

|    |                        |       |      |                 |                 |                |
|----|------------------------|-------|------|-----------------|-----------------|----------------|
| Рb | пос. Министочник       | + 149 | 7.53 | 11.713 ± 0.504* | 12.891 ± 0.554* | 8.317 ± 0.358  |
|    | пос. Краснооктябрьский | + 167 | 7.54 | 7.176 ± 0.308*  | 6.423 ± 0.276*  | 5.464 ± 0.234  |
|    | <b>ст. Ханская</b>     | + 61  | 7.95 | 4.222 ± 0.182*  | 4.345 ± 0.187*  | 4.162 ± 0.171  |
| Cu | <b>аул Бжедугхабль</b> | + 191 | 8.27 | 3.996 ± 0.172*  | 5.038 ± 0.217*  | 2.671 ± 0.109  |
|    | аул Адамий             | + 167 | 8.30 | 5.021 ± 0.216*  | 4.901 ± 0.211*  | 3.533 ± 0.145  |
|    | <b>кордон Лагерный</b> | + 229 | 7.51 | 6.576 ± 0.224   | 5.104 ± 0.174   | 3.670 ± 0.125  |
|    | ст. Даховская          | + 346 | 7.52 | 5.189 ± 0.176*  | 4.041 ± 0.137*  | 3.857 ± 0.131  |
|    | пос. Министочник       | + 149 | 7.53 | 4.578 ± 0.156*  | 5.945 ± 0.202*  | 3.057 ± 0.087  |
|    | пос. Краснооктябрьский | + 167 | 7.54 | 2.688 ± 0.091*  | 2.331 ± 0.079*  | 2.573 ± 0.105  |
|    | <b>ст. Ханская</b>     | + 61  | 7.95 | 5.632 ± 0.191*  | 6.287 ± 0.214*  | 4.955 ± 0.203  |
|    | <b>аул Бжедугхабль</b> | + 191 | 8.27 | 5.729 ± 0.195*  | 6.778 ± 0.230*  | 3.148 ± 0.129  |
|    | аул Адамий             | + 167 | 8.30 | 5.226 ± 0.178*  | 6.076 ± 0.207*  | 4.973 ± 0.204  |
|    | <b>кордон Лагерный</b> | + 229 | 7.51 | 9.564 ± 0.392   | 10.306 ± 0.423  | 8.160 ± 0.335  |
| Zn | ст. Даховская          | + 346 | 7.52 | 10.025 ± 0.411  | 9.570 ± 0.392   | 10.082 ± 0.413 |
|    | пос. Министочник       | + 149 | 7.53 | 12.509 ± 0.513* | 14.983 ± 0.614* | 7.278 ± 0.298  |
|    | пос. Краснооктябрьский | + 167 | 7.54 | 4.371 ± 0.179*  | 4.228 ± 0.173*  | 4.869 ± 0.200  |
|    | <b>ст. Ханская</b>     | + 61  | 7.95 | 9.146 ± 0.375   | 11.520 ± 0.472* | 9.740 ± 0.399  |
|    | <b>аул Бжедугхабль</b> | + 191 | 8.27 | 9.983 ± 0.409   | 13.317 ± 0.546* | 6.805 ± 0.279  |
|    | аул Адамий             | + 167 | 8.30 | 10.407 ± 0.427  | 11.415 ± 0.468  | 8.988 ± 0.368  |

Примечание: \*Еd – окислительно-восстановительный потенциал, мВ; \* – различия достоверны (P < 0.05).

Согласно полученным результатам можно констатировать, что почти во всех исследуемых створах металлы концентрируются в донных отложениях р. Белой в окислительном горизонте в труднорастворимых формах со связанными органическими веществами. На участках реки в районе пос. Министочник и ст. Ханской металлы присутствуют в виде карбонатов с переходом в сульфидные формы.

Фракции с размером частиц 0.25 – 1.0 мм представлены песчанистым материалом и практически не принимают участия в процессе самоочищения водной среды. Наибольшую опасность представляют донные отложения с размером фракций < 0.25 мм. При изменении гидродинамических условий водной среды они могут вовлекаться в речной поток и транспортироваться на значительные расстояния.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на адсорбционную способность ионов тяжелых металлов, являются размеры частиц. Определяющее значение имеет удельная площадь поверхности частиц [10]. Корреляционный анализ связи концентраций металлов с размерами частиц донных отложений р. Белая показал, что коэффициенты корреляции имеют положительные значения для частиц 0.25 – 1.0 мм и < 0.25 мм. Хорошо адсорбируются Fe ( $r = 0.99$ ), Pb ( $r = 0.97$ ), Cu ( $r = 0.69$ ), Zn ( $r = 0.93$ ), Mn ( $r = 0.45$ ). Это означает, что частицы ила – главный сорбирующий и коагулирующий материал для приведенных выше тяжелых металлов.

В литературе неоднократно отмечалась существенная роль в геохимических циклах Fe и Mn. Процессы круговорота ряда элементов между водой и донными отложениями связаны с окислами и гидроокислами Fe и Mn – хорошими адсорбентами элементов из водных растворов вследствие высоких отрицательных значений заряда, большой удельной поверхности частиц и высокой емкости катионного обмена [8]. Данные исследований 2006 г. свидетельствуют, о средней корреляции Fe с концентрациями Cu ( $r = 0.48$ ), Mn ( $r = 0.44$ ), Zn ( $r = 0.32$ ), Pb ( $r = -0.81$ ). Максимальные значения этих коэффициентов отмечены для частиц диаметром < 0.25 мм:  $r = 0.79$  (Cu),  $r = 0.65$  (Mn),  $r = 0.50$  (Zn), Pb ( $r = -0.70$ ). Для фракции частиц с диаметром 0.25 – 1.0 мм концентрация Mn тесно связана с концентрациями Cu ( $r = 0.92$ ), Zn ( $r = 0.45$ ) и Pb ( $r = -0.18$ ), для мелкой фракции соответствующие показатели – 0.37 (Cu), 0.25 (Zn) и -0.47 (Pb). Наиболее высокие коэффициенты корреляции содержания Fe с выше указанными металлами характерны для мелкой фракции, в то время как Mn – для более крупной фракции, что свидетельствует об идентичности процессов трансформации тяжелых металлов в донных отложениях. Не установлена зависимость для свинца между концентрациями железа и марганца. Полученные высокие значения коэффициентов корреляции содержания Mn и Fe с концентрациями Zn и Cu, свидетельствуют об участии этих элементов в редокс-цикле Fe и Mn.

### *Заключение*

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что концентрация растворенных и взвешенных форм исследованных элементов в пробах воды из различных участков р. Белая характеризуется неоднородностью. Для Fe, Mn, Zn и Cu проявляется отчетливая тенденция к увеличению их содержания вниз по течению реки с максимальными концентрациями на участке предгорной зоны Северо-Западного Кавказа. Для изученных тяжелых металлов характерно преобладание взвешенной формы миграции.

Для концентраций тяжелых металлов в донных отложениях характерна значительная неравномерность их распространения на различных участках р. Белой. Практически на всем протяжении р. Белая (за исключением притоков и устья реки) донные отложения представлены обломочным и песчаным материалом. Существенному загрязнению донных отложений тяжелыми металлами подвержены участки пос. Министочник, аул Бжедугхабль и устье реки – Zn и Pb, в нижнем течении р. Белая – Cu.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что со сменой окислительно-восстановительной зональности в донных отложениях происходит закономерное изменение форм нахождения металлов. Переход тяжелых металлов из донных отложений в водную толщу зависит от их форм нахождения в твердых субстратах, а также от физико-химических условий на границе раздела твердой и жидкой фаз. Наиболее подвижными будут те металлы, которые в наибольших количествах находятся в составе обменной, карбонатной фракциях и фракциях железомарганцевых оксидов и гидроксидов. При нарушении равновесных условий на границе контакта твердой и жидкой фаз, прежде всего при снижении pH, Eh и дефиците растворенного кислорода, а также в случае повышения минерализации контактирующей воды возможно увеличение миграционной подвижности металлов и их переход в водную среду.

В результате исследований установлено, что придонные и поровые воды р. Белая характеризуются слабоокислительными и окислительными свойствами, имеют высокую степень связанности тяжелых металлов в комплексы с растворенными органическими веществами естественного происхождения, что снижает токсичность этих металлов для человека и гидробионтов.

Характер вертикального распределения тяжелых металлов в донных отложениях связан с их загрязнением тяжелыми металлами. На створах с низким содержанием тяжелых металлов вертикальное распределение их достаточно однородное. На загрязненных участках реки важную роль в распределении тяжелых металлов по глубине колонки играет проточность: при слабой проточности (пос. Министочник – аул Бжедугхабль) наибольшие концентрации отмечены в поверхностных слоях 0 – 10 см по сравнению со слоем 10 – 30 см, а при сильной проточности (ст. Даховская) в поверхностном слое наблюдается наиболее низкое содержание тяжелых металлов.

Полученные высокие значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о важной роли редокс-циклов Fe и Mn в геохимическом круговороте таких элементов, как Zn, Cu.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беус А.А. Геохимия литосферы. М: Недра, 1972. С. 296.
2. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. М: Химия, 1984. 432 с.
3. Воды суши: проблемы и решения. М: ИВП РАН, 1994. 560 с.
4. Гапеева М.В, Законнов В.В., Гапеев А.А. // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 2. С. 174.
5. Денисова А.И, Нахшина Е.П., Новиков Б.И., Рябов В.К. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. Киев: Наука думка, 1987. 164 с.
6. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в природных водах. Л: Гидрометеоздат, 1987. 270 с.
7. Линник П.Н., Тимченко В.М. // Гидробиологический журн. 1987. Т. 22. № 3. С. 76 – 79.
8. Мизандронцев И.Б. Химические процессы в донных отложениях водоемов. Новосибирск: Наука, 1990. 176 с.
9. Мур Дж.В, Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М: Мир, 1987. 140 с.
10. Потемкин В.Н. Гранулометрический анализ морских донных отложений. М: Наука, 1967. 128 с.
11. Нормы и критерии оценки загрязнения донных отложений в водных объектах. Региональный норматив. СПб., 1996. 20 с.
12. Савицкий В.Н., Пелешко В.И., Осадчий В.И. // Журн. аналитическая химия. 1987. Т. 42. № 4. С. 677 – 683.
13. Хатчинсон Д.. Лимнология. М: Прогресс, 1969. 592 с
14. Balls P.W. // Netherlands Journ. of Sea Research. 1989. V. 23. No.1. P. 7 – 14.
15. Horowitz A.J. A primer on trace metal-sediment chemistry. Alexandria, 1985. 67 p.
16. Plant J.A., Raiswell R. Principles of environmental geochemistry. In: Applied environmental geochemistry. Academic Press. London, 1987. P. 1 – 39.
17. Salomons W. Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments / Eds. Stigliani. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 353 p.
18. Steell K.F., Wagner G.H. Trace metal relationships in bottom sediments of freshwater stream the Buffalo River, Arkansas. J. Sediment Petrol. 1975. V. 45. № 1. P. 310 – 319.
19. Vasiliev O.F., Papina T.S., Pozdnjakov Sh.R. Suspended sediment and associated mercury transport – the case study on the Katun River. Proc. 4 Int. Symp. on river sedimentation, Beijing. China: IRTCES, 1990. P. 155 – 162.

## **ABSTRACT**

The article scrutinizes the rate of contamination of aquatic environment of the Western Caucasus with heavy metals.

## **АННОТАЦИЯ**

Данная статья рассматривает загрязнение водной среды Северо-Западного Кавказа тяжелыми металлами.

© Э.А. Сиротюк,  
И.П. Тах,  
Р.А. Тороян, 2009



## ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БАССЕЙНОВ МАЛЫХ РЕК

*Тах И.П., Тороян Р.А.*

*(Россия, г. Нальчик, г. Майкоп)*

В России более 2,5 млн. малых рек. Они формируют почти половину суммарного объема речного стока, в их бассейнах проживает до 44% всего городского населения и почти 80% сельского.

Малые реки, будучи своеобразным компонентом географической среды, выполняют функции регулятора водного режима определенных ландшафтов, поскольку в значительной степени поддерживают равновесие и осуществляют перераспределение влаги. Водосборные площади и малые реки представляют собой начальное звено формирования водных ресурсов любой крупной реки, во многом определяющее гидроэкологическую обстановку на средних и крупных реках. При этом на пути к замыкающим звеньям речных систем происходит сложная трансформация речного стока, гидрологического режима и качества воды [1].

Поскольку сток малых рек формируется в тесной связи с ландшафтом бассейна, они отличаются высоким уровнем уязвимости, причем не только при чрезмерном использовании водных ресурсов, но и при освоении водосбора. Особенно большой вред малым рекам наносит интенсивная хозяйственная деятельность.

Решение проблемы видится в организации особой системы экологического мониторинга бассейнов малых рек, основанной на реализации специализированной программы, позволяющей учитывать все особенности, присущие той или иной реке. Постоянный контроль качества всех водных объектов, в том числе и не участвующих в хозяйственной деятельности человека, позволит своевременно принимать меры по их защите и сохранению первоначальных свойств экосистем, что является необходимым условием реализации положений стратегии устойчивого развития [2]. Согласно современным взглядам экологический мониторинг – это комплекс наблюдений, оценок, прогнозов и разрабатываемых на их основе вариантов управленческих решений, необходимых и достаточных для обеспечения управления состоянием окружающей природной среды. При всей очевидности данного положения, оно требует обоснования научных принципов его организации [2].

Бассейновый принцип, положенный в основу данной системы, позволит ранжировать малые реки по величине антропогенной нагрузки, приходящейся на их водосборные площади; исследовать и прогнозировать миграцию загрязняющих веществ по рекам; изучить и прогнозировать взаимовлияние экосистем разных бассейнов друг на друга.

В первую очередь при создании системы экологического мониторинга бассейнов малых рек необходимо совершенствовать размещение контрольных створов. Особое внимание при размещении контрольных

створов на реках следует уделить районам с необратимо измененными в результате деятельности человека природными экосистемами. Необходимо всесторонне представлять влияние данных объектов на состояние малых рек.

Количество контрольных створов должно быть достаточным для полноценного математического моделирования, как естественных, природных процессов, сезонных и других изменений состояния бассейнов малых рек, так и процессов, связанных с антропогенным влиянием на данные бассейны, а также последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с целью определения границ района их распространения.

Помимо размещения контрольных створов насущной проблемой экологического мониторинга бассейнов малых рек являются применяемые методы анализа отбираемых проб.

Важной частью экологического мониторинга является гидрохимический контроль вод. Необходимо учитывать влияние на качественный и количественный состав природных вод всех факторов, как природных, так и антропогенных. Действительные концентрации загрязнителей природного происхождения необходимо сопоставить не только с ПДК, но и с фоновой концентрацией данного вещества [4]. Расположение в бассейне реки крупных предприятий (сельскохозяйственных, промышленных и т.д.) дает основание для дополнительных анализов на содержание в пробах характерных для данного производства загрязнителей, не встречающихся в естественных условиях. В районах с незначительной антропогенной нагрузкой можно не применять дорогостоящие методы анализа, а контролировать лишь общее состояние реки. Таким образом, качественное и количественное содержание гидрохимического контроля состояния вод должно отражать специфику каждого водного объекта и его бассейна.

Для полной оценки состояния экосистем бассейнов малых рек недостаточно данных о концентрациях веществ в воде, поскольку токсическое действие веществ зависит не только от их концентрации, но и от ряда внешних и внутренних факторов среды. Конечной целью экологического мониторинга является анализ и прогноз антропогенного влияния на экосистемы, а это невозможно без оценки их целостности и способности к самоочищению [6]. Для этой цели можно использовать коэффициент самоочищения, вычисляемый по разнице в БПК<sub>20</sub> при внесении в пробу модельного загрязнителя и контроля, а также нитрифицирующую способность, характеризующую уровень протекания процессов нитрификации в водоеме [5].

Исследование донных отложений также является важнейшим аспектом изучения экологического состояния водных объектов, наглядно отражающим их современное состояние и несущим информацию о загрязнении вследствие инженерно-хозяйственной деятельности на данной территории. Речные наносы мелких фракций, обладающие высокой сорбционной способностью, в процессе своего перемещения и отложения в русле реки накапливают весь

комплекс химических элементов, присутствующих в воде. Концентрация загрязняющих химических элементов в наносах размером меньше 0,02 мм (глинистые и илестые частицы) зачастую превышает их концентрацию в речной воде в 5-10 раз. Такие сильно загрязненные отложения в определенных гидравлических и гидродинамических условиях (паводки, наводнения) в результате процессов десорбции могут служить источником вторичного загрязнения водной среды. Исследованиям донных отложений следует отводить значительное в общей системе наблюдений за состоянием водной среды, поскольку по сравнению с гидрохимическими и гидробиологическими исследованиями их изучение не требует проведения ежегодных режимных наблюдений [3]. Это значительно сокращает стоимость экологического мониторинга. Результаты исследования позволяют установить наиболее неблагоприятные в экологическом отношении участки реки и бассейна и, в конечном счете, скорректировать состав и объем мониторинга речного бассейна.

Загрязнение природных вод зависит от пространственного удаления источника загрязнений от речной сети. Различные виды хозяйственной деятельности на поверхности речных бассейнов, в долинах водотоков, способы поступления в них загрязненных стоков – эти и другие факторы должны учитываться при организации экологического мониторинга. При этом имеет значение учет временной изменчивости потоков загрязняющих веществ.

Помимо химического загрязнения речных вод и донных отложений к негативным последствиям человеческой деятельности относятся истощение речного стока, рост числа катастрофических наводнений и усиление эрозионных процессов. Это свидетельствует о необходимости включить в систему экологического мониторинга бассейнов малых рек данные об изменениях гидрологического режима рек в результате деятельности человека. Также важными являются сведения о водопотреблении, поскольку для экосистем малых рек значительными являются даже небольшие в абсолютном исчислении объемы отводимой воды. При наличии источников сброса загрязняющих веществ гидрологические данные позволяют корректировать расчет ПДС в соответствии с изменениями параметров речного стока.

Еще одним важным показателем состояния экосистем бассейнов малых рек является степень деградации животного и растительного мира. Расчет данного показателя производится на основе многолетних наблюдений, а также сохранившихся географических описаний прошлого.

Для прогнозирования влияния антропогенной деятельности на состояние бассейнов малых рек крайне важным является учет риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также расчет и моделирование распространения последствий возможных ЧС для всего бассейна.

Итак, для разработки системы экологического мониторинга малых рек необходимо учитывать большой комплекс факторов: географических,

геохимических, физических, биологических, поскольку природные воды являются производным сложных реакций, протекающих между водой и элементами природных ландшафтов.

На основе вышеизложенного, можно сделать вывод о перспективности разработки в системе экологического мониторинга бассейнов малых рек интегрального показателя, позволяющего учитывать не только гидрохимические аспекты, но и комплекс других данных, таких как способность к самоочищению, степень нитрификации, наличие загрязнителей в донных отложениях, изменения гидрологических и гидродинамических показателей малых рек, уровень деградации растительного и животного мира в процессе антропогенной деятельности, а также риск возникновения и масштабы распространения чрезвычайных ситуаций. Необходимой признается разработка системы размещения контрольных створов, предусматривающей исследование миграции загрязнителей и ранжирование бассейнов по уровню антропогенной нагрузки.

Определяющей чертой разрабатываемой системы экологического мониторинга должна являться возможность корректировки размещения створов, показателей и методов анализа в соответствии с особенностями конкретного речного бассейна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Малые реки волжского бассейна. / Под ред. Н.И. Алексеевского. – М., 1998. – С. 164-166.
2. Симонов Ю.Г., Кружалин В.И., Симонова Т.Ю. Речные бассейны как сложные геоморфологические системы: итоги и пути комплексных исследований. – М., 2005.
3. Техногенное загрязнение речных экосистем. / В.Н. Новосельцев. – М., 2002. – С. 36-37.
4. Фашевский Б.В. Экологическая гидрология и проблемы нормирования водных ресурсов. – Минск, 2005.
5. Фруммин Г.Т., Слогина С.Е. Количественная оценка самоочищающей способности водных объектов.// Загрязнение окружающей среды. Проблемы токсикологии и эпидемиологии. Тез. док. межд. конф. – Пермь, 1993. – С. 131-132.
6. Черкинский С.Н. Дальнейшее развитие расчетного метода прогнозирования в санитарной охране водоемов // Гигиена и санитария. 1977. № 7. – С. 18-28.

## ABSTRACT

Es sind die Hauptprinzipien und die Indikatoren der Organisation des ökologischen Kontrollsystems der Bassins der kleinen Flüsse vorgestellt.

## **АННОТАЦИЯ**

Научная статья рассматривает основные принципы организации мониторинга бассейнов малых рек.

© И.П. Тах,  
Р.А. Тороян, 2009

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ГОУ ВПО МГТУ

*Тхатель А.А.*  
(Россия, г. Майкоп)

Современное развитие научно-технического прогресса, информатизация промышленности, сферы бизнеса и общества в целом выдвигает требования по подготовке качественно новых инженерных кадров с высоким уровнем знаний в предметной области, в полной мере владеющих современной вычислительной техникой и новейшими достижениями информационных и коммуникационных технологий.

Уже сегодня в отечественной промышленности ощущается нарастающая потребность в высококвалифицированных инженерных кадрах, воспринимающих и владеющих прикладными информационными технологиями (ИТ). Решение данной проблемы возможно лишь при эволюционной перестройке инженерного образования, обеспечении идентичности инструментальных средств, технологий, информационной среды инженера и студента.

Для этого необходимо использование ИТ не только при преподавании курсов, направленных непосредственно на их изучение, но и других общепрофессиональных и специальных дисциплин. Применение в программе обучения интегрированных систем автоматизированного проектирования и производства, охватывающих различные стороны деятельности инженера, позволит сформировать в будущих специалистах системное, целостное представление об использовании ИТ на реальном производстве.

В нашем Вузе готовят специалистов по следующим инженерно-техническим специальностям: МАПП, технология бродильных производств и виноделия, промышленное и гражданское строительство, городское строительство и хозяйство.

На сегодняшний день будущий инженер должен освоить достаточно большое количество программных продуктов из разных областей:

1. Различные системы инженерно-математических расчетов (САПР).
2. Системы твердотельного проектирования
3. Моделирование технологических процессов и др.

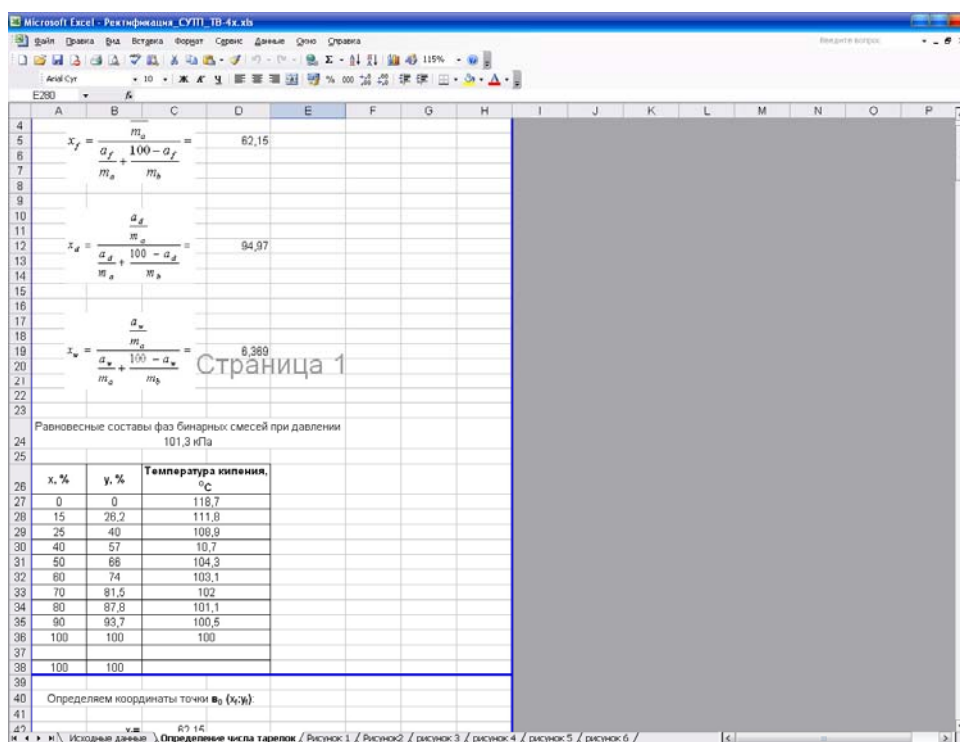
Одна из важнейших составляющих подготовки специалистов инженерного профиля – разработка курсовых и дипломных проектов, включающая необходимую учебно-методическую и справочную литературу, программные средства для проведения специализированных расчетов, формирования проектно-конструкторской документации.

В качестве примера хотелось бы показать структуру информационно-обучающей среды состоящей из прикладных программ, которые, необходимо

знать студенту при решении поставленных инженерных задач, а именно одно из направлений курсового проектирования по дисциплине «процессы и аппараты пищевых производств» - «расчет ректификационной колонны».

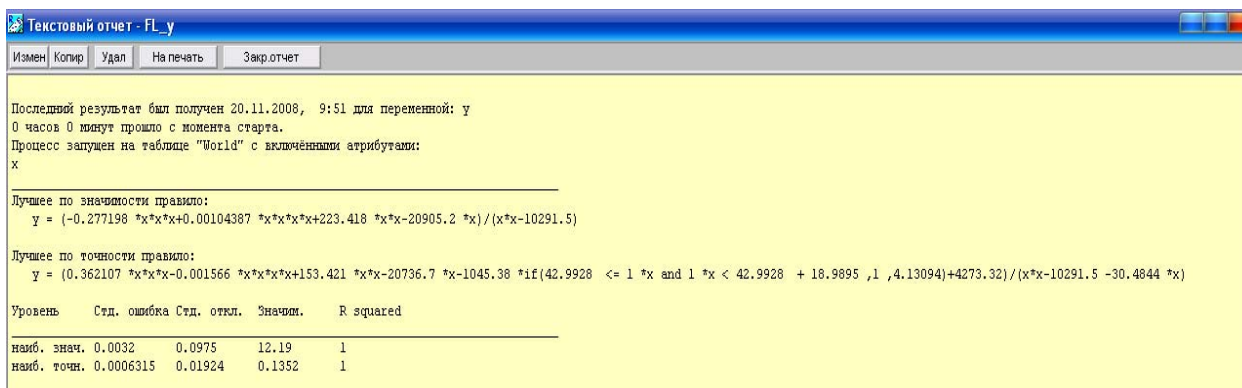
Данный курсовой проект в классической форме предполагает использование различной справочной литературы с табличными данными, присутствует наличие элементов ручного расчета, что на сегодняшний день не соответствует требованиям, предъявляемым к будущим инженерам.

Самой распространенной системой расчета, которой должен владеть инженер является Microsoft Excel навыки использование данного программного продукта закладываются на начальном этапе обучения по курсу «Информатика». Данная система расчета имеет свои недостатки, одним из которых является достаточно большое количество параметров



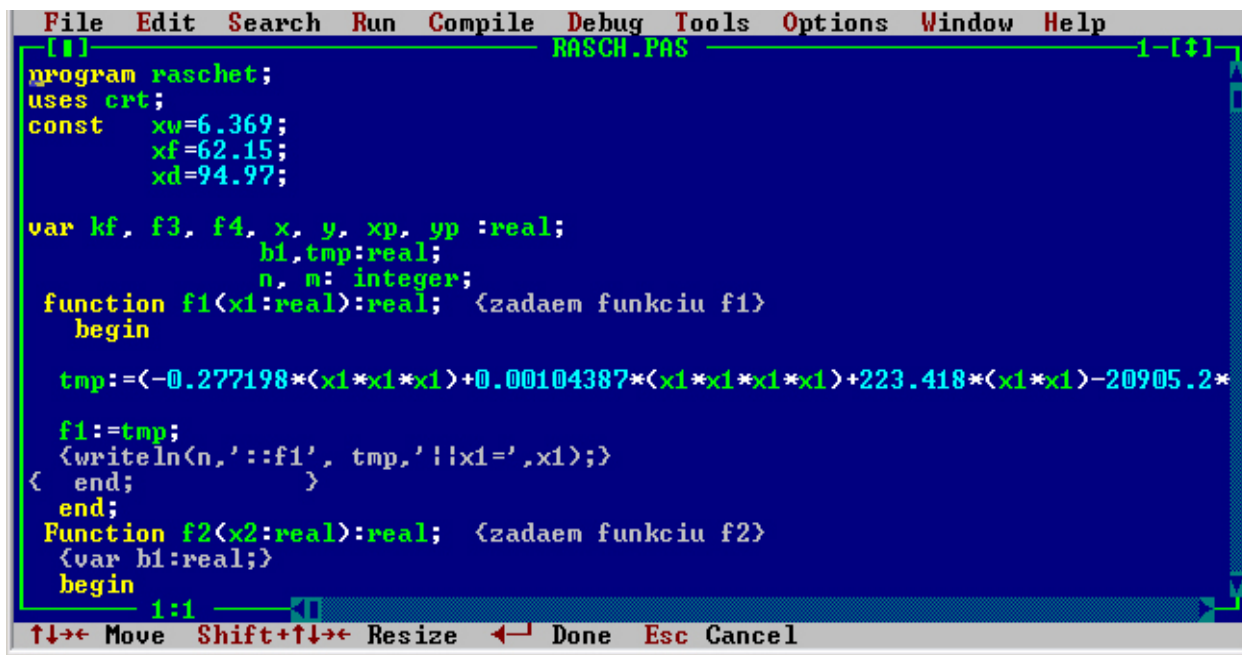
расчета берущихся из различных справочников и имеют очень большую погрешность, влияющую на результат расчета.

Для того чтобы избежать возможных ошибок в расчете студентам предлагается создать некую матмодель или описание позволяющие получать нужные параметры расчета с необходимой точностью. Одним из таких продуктов является PolyAnalyst Pro.



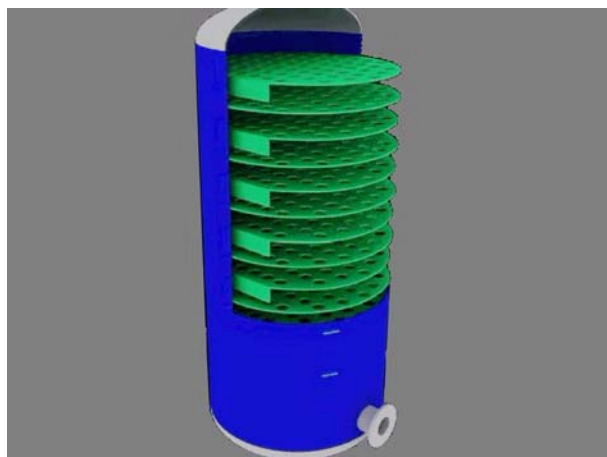
Этот программный продукт, относится к семейству программ, позволяющих анализировать и находить зависимости между различными параметрами расчета.

На основе полученных соотношений PolyAnalyst Pro создается программа на языке Pascal.



Результатом выполнения, которой являются технологические и геометрические параметры необходимые в качестве исходных данных для построения 3D модели проектируемого аппарата в среде твердотельного проектирования Solid age.





Созданная информационно-обучающая среда, состоящая из нескольких программных продуктов различных по своему назначению открывает широчайшие возможности для повышения уровня подготовки выпускников МГТУ, учебно-методического оснащения МГТУ, расширения лабораторной и производственной базы учебного процесса, развития традиционных и создания новых форм инженерного образования.

#### **ABSTRACT**

Created informational-training environment, introduces the wide range of opportunities of enhancing the quality of preparation of MGTU graduates, for updating university learning facilities, and extension laboratory and industrial base of educational process, for development of traditional and creation of new forms of engineering education.

#### **АННОТАЦИЯ**

Созданная информационно-обучающая среда, открывает широчайшие возможности для повышения уровня подготовки выпускников МГТУ, учебно-методического оснащения МГТУ, расширения лабораторной и производственной базы учебного процесса, развития традиционных и создания новых форм инженерного образования.

© А.А.Тхатель, 2009

## НЕОБХОДИМОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Хакунов М.Р.*  
(Россия, г. Майкоп)

Важнейшей составной частью экологического мониторинга окружающей природной среды является биомониторинг – система наблюдений, оценки и прогноза различных изменений в биоте, вызванных факторами антропогенного происхождения. Биомониторинг делает возможной прямую оценку качества среды и является одним из уровней последовательного процесса изучения здоровья экосистемы. Основной задачей биологического мониторинга является наблюдение за уровнем загрязнения биоты с целью разработки систем раннего оповещения, диагностики и прогнозирования.

Биологический мониторинг осуществляется с помощью двух групп методов: биоиндикации и биотестирования. Методами биоиндикации определяется присутствие в окружающей среде того или иного загрязнителя по наличию или состоянию организмов, наиболее чувствительных к изменению экологической обстановки. Присутствие толерантных индикаторных организмов в виде высокой плотности популяций или отсутствие чувствительных популяций может служить показателями загрязнений. К чувствительным биоиндикаторам относятся лишайники, мхи, почвенные и водные микроорганизмы. В роли биоиндикаторов могут быть использованы пыльца растений, хвоя сосны обыкновенной и др. Среди животных также выделяются группы организмов, положительно или отрицательно реагирующие на различные формы антропогенной трансформации среды [1].

В качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды могут служить растения. Современные исследования сконцентрированы на методах раннего распознавания, показывающих изменения в метаболизме, которые предшествуют видимым симптомам повреждения. Сильнейшее антропогенное воздействие на фитоценозы оказывают загрязняющие вещества в окружающем воздухе, такие как диоксид серы, оксиды азота, углеводороды. Было установлено, что на лишайники губительно действуют, прежде всего, вещества, увеличивающие кислотность среды, ускоряющие окислительные процессы. Суждение о загрязнении атмосферного воздуха базируется на сравнительном изучении видового состава лишайников, распространении отдельных видов, морфологических изменений слоевищ, физиологических показателей, прироста и др. [2].

Ранние способы определения повреждений возможны на первичных уровнях воздействия, т.е. в системе хлоропластов, ассимилирующих органов. Перед видимым повреждением биохимические и физиологические параметры хлоропластов показывают определенные изменения, зависящие от концентрации загрязнителей. Желательно использовать аппаратные и

экспрессные методы мониторинга с тем, чтобы обеспечивать возможность объективной оценки состояния большого числа растений за короткое время. В этом отношении перспективно применение биофизических методов, в первую очередь флуоресцентных. Наиболее распространен и успешно апробирован метод биоиндикации воздушной среды на основе замедленной флуоресценции хлорофилла [5].

Методы биотестирования, в отличие от методов биоиндикации, представляют собой характеристику степени воздействия на водные биоценозы. С помощью этих методов можно получить данные о токсичности конкретной пробы воды, загрязненной химическими веществами – антропогенными или природного происхождения. Таким образом, методы биотестирования, будучи биологическими, близки к методам химического анализа. В то же время, в отличие от химических методов, они позволяют дать реальную оценку токсических свойств воды или другой среды, обусловленных присутствием комплекса загрязняющих химических веществ и их метаболитов.

Наиболее широко биотестирование, как метод контроля, применяется в США, где разработаны унифицированные методы оценки токсичности водной среды, которые используются при определении предельно-допустимых уровней загрязнения и разработке критериев качества воды. По данным, приведенным в работе Р.С. Руссо [3], в информационную систему о токсичности сточных вод сложного состава, организованную Агентством по охране окружающей среды (АООС) США введены сведения о токсичности сточных вод или их влиянии на водные объекты по результатам биотестирования, выполненного на 4650 тестах с использованием 145 тест-организмов. В отчете о деятельности только одного регионального подразделения АООС приводятся результаты более 400 ежемесячных тестов на рыбах (определение острой токсичности сточных вод).

Токсикологические методы оценки качества воды и аппаратура для их реализации разрабатываются и в ряде других стран: Англии, Франции, Германии, Швеции, Швейцарии и др. Наряду с разработкой методов биотестирования, во многих странах занимаются их стандартизацией. В Англии, Австрии, Венгрии, Польше, США, Франции, Финляндии, Швеции и др. действует более 40 стандартов, в их числе имеются стандарты, как общетехнического назначения, так и на конкретные методы биотестирования.

В своих работах российские токсикологи неоднократно обсуждали вопросы о значении токсикологического контроля, основанного на биотестировании, для повышения эффективности охраны вод. В последние годы накоплен значительный экспериментальный материал, позволяющий судить о действии многих химических соединений и некоторых категорий сточных вод на различные группы организмов. В нашей стране накоплен также и практический опыт испытания или применения биотестов в контроле природных и сточных вод. На современном этапе в России разработано более

40 методов биотестирования и их модификаций, с использованием различных тест-объектов.

В методах биотестирования с использованием бактерий регистрируются интенсивность размножения клеток, биолюминесценции, активность окислительных ферментов бактерий активного ила. В биотесте с использованием плесневых грибов и актиномицетов регистрируется ростовая реакция тест-объектов. В биотестах на водорослях используются различные реакции: интенсивность размножения клеток, уровень медленной флуоресценции, иммобилизация клеток и зооспор, биоэлектрическая реакция, плазмолиз, фотосинтетическая активность клеток, способность клеток к дифференцированному окрашиванию. В методах с использованием простейших регистрируются интенсивность размножения, двигательная активность и морфологические изменения. В биотестах на дафниях учитываются выживаемость, плодовитость, сукцинатдегидрогеназная активность, интенсивность дыхания и сердцебиения. В методах с использованием других беспозвоночных фиксируются регенерация подошвы гидры, изменение поведения медицинской пиявки, перловицы, приморского гребешка, гаммарид. У рыб в качестве тест-функций используются поведенческие реакции, двигательная активность, интенсивность сердцебиения и дыхания, способность к изменению пигментации кожных покровов [2].

Основной принцип биологического тестирования сводится к оценке достоверных различий между опытом (среда, содержащая токсикант) и контролем (чистая вода) по какому-либо показательному параметру тестируемого объекта, указывающему на полное или частичное угнетение жизненных функций тест-организмов под влиянием испытываемой воды или индивидуальных токсикантов в определенных концентрациях.

Оперативная интегральная оценка качества воды и почвы методами биотестирования не заменяет количественный химический анализ, но она его дополняет и, в какой-то степени, может предварять, благодаря экспрессности, простоте и невысокой стоимости методов биотестирования. Методы биотестирования, разработанные на примере сточных вод и отдельных химических соединений апробированы для анализа токсичности водных вытяжек почв и отходов, загрязненных различными веществами, в том числе нефтепродуктами. Следует отметить, что нормативные документы по методам биологического контроля загрязнения атмосферного воздуха в нефтегазовой отрасли отсутствуют, и биоиндикационный контроль должны осуществлять высококвалифицированные специалисты-экологи [4].

Таким образом, применение биологических методов для оценки качества среды основано на биологических особенностях организмов. Высокочувствительные к антропогенному загрязнению представители биоты (организмы-индикаторы) используются для идентификации изменений в окружающей среде, обусловленной действием загрязнителей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ашихмина, Т.Я. Биоиндикация и биотестирование природных сред и объектов в организации экологического мониторинга на территории зоны защитных мероприятий объектов уничтожения химического оружия. Химическое разоружение / Т.Я. Ашихмина, Л.И. Домрачева, Е.В. Дабах, Кантор. Я., Огородникова С.Ю., Тимонюк В.М. – Киров, 2005.
2. Захаров, В.М. и др. Здоровье среды: методика оценки (Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методическое руководство для заповедников). – М.: 2000.
3. Руссо, Р.С. Информационная система по токсичности стоков сложного состава / Р.С. Руссо // Проблемы водной токсикологии, биотестирования и управления качеством воды. – Л., 1986. – С. 151-163.
4. Саксонов, М.Н., Экологический мониторинг нефтегазовой отрасли. Физико-химические и биологические методы: учеб. пособие / М.Н. Саксонов, А.Д. Абалаков, Л.В. Данько, О.А. Бархатова, А.Э. Балаян, Д.И. Стом. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2005. – 114 с.
5. Шуберт, Р. Возможности применения растительных индикаторов в биолого-технической системе контроля окружающей природной среды / Р. Шуберт / Проблемы фоновго мониторинга состояния природной среды. – Л.: ГМИ, 1982. – Вып. 1. – С. 104-111.

## ABSTRACT

Various biological methods of revealing environmental pollution, their advantages compared to chemical methods of analysis are examined in the article.

## АННОТАЦИЯ

Рассматриваются различные биологические методы выявления загрязнений окружающей среды, их преимущества в сравнении с химическими методами анализа.

© М.Р. Хакунов, 2009

## СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО—ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА, КАК ФАКТОР РОСТА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ

*Хурумов А.Н.*  
(Россия, г. Майкоп)

Для формирования понимания природы и основ стратегического планирования развития территорий и отраслей необходимо сформулировать теоретические и методические основы формирования систем долгосрочного стратегического планирования в целом. Основой долгосрочного стратегического планирования в большинстве экономических систем выступает прогнозирование. Особенно это применимо в практике планирования основанного на ретроспективном анализе. Прогнозирование в свою очередь соотносится с более широким понятием — предвидением. Предвидение опережает отражение действительности и основано на познании законов природы, общества и мышления. В зависимости от степени конкретности и характера воздействия на ход исследуемых процессов различают следующие его формы: гипотеза, прогноз, план.

Планирование представляет собой процесс научного обоснования целей, приоритетов, определения путей и средств их достижения. На практике оно реализуется посредством разработки планов. Его отличительной чертой является конкретность показателей, их определенность по времени и количеству.

Прогноз и план взаимно дополняют друг друга. Формы сочетания прогноза и плана могут быть самыми разными: прогноз может предшествовать разработке плана (в большинстве случаев), следовать за ним (прогнозирование последствий принятого в плане решения), проводиться в процессе разработки плана, самостоятельно играть роль плана, особенно в крупномасштабных экономических системах (регион, государство), когда невозможно обеспечить точное определение показателей, т.е. план приобретает вероятностный характер и практически превращается в прогноз.

Планирование нацелено на обоснование принятия и практической реализации управляющих решений. Цель прогнозирования — прежде всего создать научные предпосылки для их осуществления. Эти предпосылки включают: научный анализ тенденций развития экономики; вариантное предвидение ее предстоящего развития, учитывающее как сложившиеся тенденции, так и намеченные цели; оценку возможных последствий принимаемых решений. Обоснование направлений социально-экономического прогнозирования заключается в том, чтобы, с одной стороны, выяснить перспективы ближайшего или более отдаленного будущего в исследуемой области, руководствуясь реальными экономическими процессами, сформировать цели развития, а с другой — способствовать выработке оптимальных планов, опираясь на составленный прогноз и оценку принятого решения с позиций его последствий в прогнозном периоде.

Прогнозирование экономических процессов осуществляется в тесном единстве с другими видами прогнозирования: социальным, политическим, демографическим, научно-техническим, развития базы естественных ресурсов и др.

Методы экономического планирования и прогнозирования можно разделить на интуитивные и формализованные. Интуитивные методы прогнозирования используются в тех случаях, когда невозможно учесть влияние многих факторов из-за значительной сложности объекта прогнозирования. В этом случае используются оценки экспертов. При этом различают индивидуальные и коллективные экспертные оценки.

В группу формализованных методов входят две подгруппы: экстраполяции и моделирования. К первой подгруппе относятся методы: наименьших квадратов, экспоненциального сглаживания, скользящих средних. Ко второй - структурное, сетевое и матричное моделирование.

Методы экстраполяции - не что иное, как использование теоретических и эмпирических моделей для нахождения переменных вне ретроспективного участка наблюдений по данным зависимостей между ними на ретроспективном участке. Таким образом, применение экстраполяции в прогнозировании всегда предполагает использование каких-либо моделей. Поэтому любое моделирование является основой для экстраполяции. Важно отметить, что на практике этот подход является наиболее распространённым как в реальном секторе экономики, так и в процессе стратегического планирования регионов, отраслей в целом.

Однако степень реальности такого рода прогнозов и соответственно мера доверия к ним в значительной мере обуславливаются аргументированностью выбора пределов экстраполяции и стабильностью соответствия «измерителей» по отношению к сущности рассматриваемого явления. Следует обратить внимание на то, что сложные объекты, как правило, не могут быть охарактеризованы одним параметром.

Операцию экстраполяции в общем виде можно представить, как определение значений функции. Простейшим способом прогнозирования считается подход, формирующий прогнозную оценку от фактически достигнутого уровня при помощи среднего прироста или темпа роста. Этот способ обладает определенными достоинствами, среди которых незначительна трудоемкость вычислительного алгоритма, универсальные расчетные схемы. Кроме указанных достоинств, он имеет несколько существенных недостатков. Во-первых, все фактические наблюдения являются результатом закономерности и случайности, следовательно, основываться на последнем наблюдении неправомерно. Во-вторых, нет возможности оценить правомерность использования среднего прироста в каждом конкретном случае. В-третьих, данный подход не позволяет сформировать интервал, в который попадает прогнозируемая величина. В связи с этим метод экстраполяции не дает точных результатов на длительных срок прогноза, потому что данный метод исходит из прошлого и настоящего, и тем самым погрешность накапливается. Этот метод раньше давал

положительные результаты на ближайшую перспективу прогнозирования тех или иных объектов - на 5-7 лет. Однако в современной турбулентной экономической среде этот метод дает огромные погрешности.

В условиях наступившего осенью 2008 г. мирового экономического кризиса, характеризующегося чрезвычайно высокой волатильностью основных экономических показателей, даже самые «продвинутые» экстраполяционные методы неприемлемы.

Распространенной методикой прогнозирования тех или иных процессов и явлений служит моделирование. Моделирование считается достаточно эффективным средством прогнозирования возможного явления новых или будущих технических средств и решений. Впервые для целей прогнозирования построение операционных моделей было предпринято в экономике. Модель конструируется субъектом исследования так, чтобы операции отображали характеристики объекта, существенные для цели исследования. Поэтому вопрос о качестве такого отображения - адекватности модели объекту - правомерно решать лишь относительно определенной цели. Конструирование модели на основе предварительного изучения и выделения его существенных характеристик, экспериментальный и теоретический анализ модели, сопоставление результатов с данными объекта, корректировка модели, составляют содержание метода моделирования.

Одним из методов моделирования является метод математического моделирования. Под экономико-математической моделью понимается методика доведения до полного описания процесса получения, обработки исходной информации и оценки решения рассматриваемой задачи в достаточно широком классе случаев. Использование математического аппарата для описания моделей (включая алгоритмы и их действия) связано с преимуществами математического подхода к многостадийным процессам обработки информации, использованием идентичных средств формирования задач, поиска метода их решения, фиксации этих методов и их преобразования в программы, рассчитанные на применение средств вычислительной техники.

Важное прикладное значение в прогнозировании принадлежит методам регрессионного анализа. Регрессионный анализ используется для исследования форм связи, устанавливающих качественные соотношения между случайными величинами изучаемого случайного процесса. Иными словами, связь между случайной и неслучайной величинами называется регрессионной, а метод анализа таких связей - регрессионным анализом. Достоинством регрессионного метода следует считать его универсальность, широкий выбор функциональных зависимостей, возможность включения в статистическую модель в качестве самостоятельной переменной фактора времени.

Специфическим методом прогнозирования является сценарный прогноз - это своего рода метод описания логически последовательного процесса, события исходя из сложившейся ситуации. Описание сценариев ведется с учетом временных оценок. Основное назначение сценария -



определение генеральной цели развития прогнозируемого объекта, явления и формулирование критериев для оценки верхних уровней «дерева целей». Сценарии обычно разрабатываются на основе данных предварительного прогноза и исходных материалов по развитию прогнозного объекта. К исходным материалам следует отнести технико-экономические характеристики и показатели основных процессов производственной и научной базы для решения поставленной цели.

Сценарий - это картина, отображающая последовательное детальное решение задачи, выявление возможных препятствий, обнаружение серьезных недостатков, с тем чтобы предрешить вопрос о возможном прекращении начатых или завершении проводимых работ по прогнозируемому объекту. Сценарий, по которому должен составляться прогноз развития объекта или процессов, должен содержать в себе вопросы развития не только науки и техники, но и экономики, внешней и внутренней политики. Поэтому сценарии должны разрабатываться высококвалифицированными специалистами соответствующего профиля прогнозируемого объекта. Сценарий по своей описательности является аккумулятором исходной информации, на основе которой должна строиться вся работа по развитию прогнозируемого объекта. Поэтому сценарий в готовом виде должен быть подвергнут тщательному анализу.

В процессе систематизированного научно обоснованного прогнозирования развития социально-экономических процессов происходило развитие методологии прогнозирования, как совокупности методов, приемов и способов мышления, позволяющих на основе анализа ретроспективных данных, экзогенных и эндогенных связей объекта прогнозирования, а также их измерений в рамках рассматриваемого явления или процесса вывести суждения определенной достоверности относительно его будущего развития.

В конце 2008г. особенно актуальна проблема выбора эффективных методов прогнозирования и их применение в условиях чрезвычайно высокой турбулентности глобальной экономики.

Важнейший недостаток статистических методов заключается в том, что они не могут в достаточной мере учитывать влияние неэкономических факторов, таких как, например, возможные дополнительные бюджетные расходы, вызванные обострением социально-экономической ситуации в условиях кризиса.

Все это требует создания новых подходов, которые опирались бы на современные количественные методы исследований - системный анализ и математическое моделирование. Многовариантность развития событий, обусловленная действием непредсказуемых факторов, учитывается путем сценарного прогнозирования. Разработка экспертами сценариев влияния таких факторов предваряет осуществление прогнозов для каждого из сценариев, что дает возможность учесть наибольшее количество аспектов моделируемого процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов В.Н., Эрлих О.В. Социальное проектирование становления и развития гражданского общества: создание стратегического плана района, города, региона: Научно-методическое пособие. — СПб.: Леонтьевский центр, 2003. 120 с.

2. Жихаревич Б.С, Лебедева Н.А. Стратегическое планирование на муниципальном уровне: принципы использования в современных российских условиях // Гуманитарные науки, 2007. №8. С.40-47.

3. Миддлтон Д. Библиотека избранных трудов стратегии бизнеса. Пятьдесят наиболее влиятельных идей всех времен / Д.Миддлтон. — М.: Издательство «ОЛИМП-БИЗНЕС», 2006. 272 с.

## ABSTRACT

The article examines the basic methods of planning and forecasting of economic investments.

## АННОТАЦИЯ

Научная статья рассматривает основные методы планирования и прогнозирования экономических инвестиций.

© А.Н. Хурумов, 2009

## СВОЙСТВА САМООРГАНИЗОВАННОГО КРИТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В МОДЕЛИ ДИСКРЕТНОЙ БЛОКОВОЙ СРЕДЫ

*Черепанцев А.С.*  
(Россия, г. Таганрог)

**Особенности Features.** Построение любой физической модели реальной геофизической среды должно учитывать возможность описания с помощью нее важнейших свойств, выделенных в ходе натурных наблюдений. К ним прежде всего следует отнести дискретный, блоковый характер среды с фрактальной организацией. Это проявляется в пространственной области в структуре разломов, имеющей фрактальный характер, в распределении числа тектонических плит по их линейному размеру, имеющему также степенную зависимость, в пространственном распределении эпицентров землетрясений, представляющих собой фрактальное множество. Еще одним фундаментальным свойством геофизической среды можно считать степенной вид зависимости в энергетической области, определяемый законом Гутенберга-Рихтера.

Активное развитие вычислительных возможностей позволяет моделировать поведение системы взаимодействующих блоков не только в приближении OFC модели клеточных автоматов, но и непосредственно на уровне механической модели. Рассмотрим вопрос реализуемости самоорганизованной критичности в механической модели и ее свойств.

Несмотря на то, что сейсмический режим представляет собой очень сложное явление, есть ряд базовых представлений, которые должны присутствовать в модели:

1. землетрясение определяется очень медленным непрерывным процессом движения плит
2. сами землетрясения представляет собой быстрый сдвиг границ плит по разлому, когда плита не может дальше выдержать напряжение
3. как следствие можно выделить два временных масштаба, характерных для данного явления- первый накопление напряжений и второй, на много порядков меньший, определяющий длительность сброса напряжений

Существует несколько подходов к моделированию сейсмического режима. Первый заключается в моделировании полностью геологической системы и затем путем ее однородного развития получения пространственно временной структуры.

Более современный и успешный подход заключается в рассмотрении динамики отдельных плит. Простейшая такая модель была предложена R.Burridge, L.Knopoff [1].

Данная модель представляет собой двумерную решетку в узлах которой расположены отдельные блоки, связанные с четырьмя соседними блоками упругой связью. Дополнительно каждый блок имеет упругую связь с

двигающейся с постоянной скоростью верхней плитой и неподвижной нижней плитой путем конечной величины трения покоя.

Динамика движения блока определяется медленно линейно растущей силой упругой связи с движущейся верхней плитой и силой трения покоя связи с нижней плитой. При достижении первой силы значения, превышающего пороговое значение силы трения покоя, блок проскальзывает в новое положение равновесия с нулевым значением действующей силы. Изменение положения такого блока изменяет силы, действующие на соседние с ним блоки за счет изменения упругих связей. Это может привести к нарушению положения равновесия у них и соскальзыванию, что в свою очередь изменяет равновесие и следующих соседей и т.д. Общее количество соскользнувших блоков, инициированных отдельным соскальзыванием может в данной модели служить мерой величины землетрясения.

С целью получения сравнительных данных с имеющимися геофизическими характеристиками сейсмического процесса, на основе модели проведена генерация пространственного распределения сбросов с заданием координат на поверхности событий различного масштаба.

Для характеристики структурной неоднородности распределения событий и группируемости принято использовать фрактальную размерность полученного множества – рис.1.

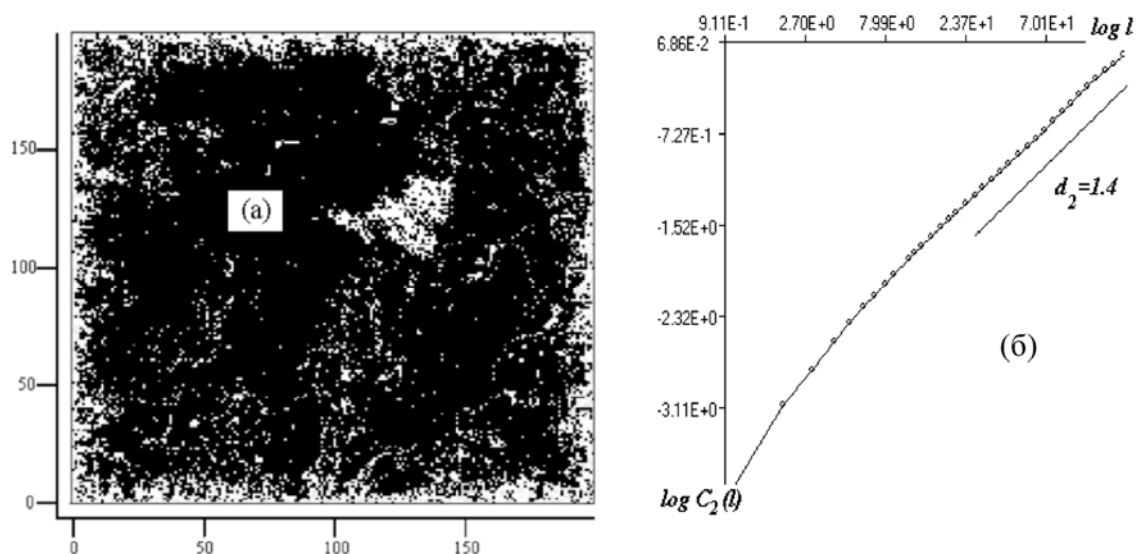


Рис.1. Распределение сбросов на сетке  $L=200$  в модели OFC при достижении критического состояния. (а) - распределение сбросов на сетке, при длительности накопления  $t=300$  итераций; (б) - оценка фрактальной размерности  $d_2 \approx 1.4$  распределения сбросов на сетке по наклону корреляционного интеграла  $C_2$ .

На рис.1 (б) представлена зависимость  $\log C_2(\log l)$ . Область линейного скейлинга определяется единичными размерами расстояний между ячейками. Значение корреляционной размерности по данным вычислений равно  $d_2 = 1.36 \pm 0.01$ . Полученное значение  $d_2 < 2$  может служить характеристикой неоднородности распределения сбросов, их группируемости в пространстве.

Рассмотрим еще одну важную характеристику поведения данной модели – связь энергии сброса (масштаба сброса) и его размеров. В качестве размера сброса  $r$  будем рассматривать больший из линейных размеров сброса:  $r_i = \max(\Delta x_i, \Delta y_i)$ . В случае однородного распределения по масштабам предполагается  $E = E_{\max} S \sim E_{\max} r^2$ , где  $S$  – площадь сброса. Зависимость  $E(r)$  в двойном логарифмическом масштабе дает оценку показателя степени  $\gamma = -1,81 \pm 0,09$ .

По результатам наблюдения сейсмичности в различных активных регионах мира выявлено, что величины показателей степени различных параметров функционально связаны соотношением  $d + b \cdot \gamma = 0$ .

Выше получены следующие параметры показателей степеней – аналоги сейсмических параметров  $d, b, \gamma$ :  $d = 1.36 \pm 0.01$ ;  $b = 0.77 \pm 0.09$ ;  $\gamma = -1.81 \pm 0.09$ . Тогда для величины невязки:

$$d + b \cdot \gamma = 0.0 \pm 0.2,$$

что может служить дополнительным обоснованием возможности использования предлагаемой модели для исследования формирования выделенных закономерностей в сейсмичности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. R. Burridge, L. Knopoff Model and theoretical seismicity. Bull. Seismol. Soc. Am. 57, 341-371 (1967).

## ABSTRACTS

The main features of power distributions as class of steady distributions are considered. The description of OFC (Olami, Feder, Christensen) model as base of tectonic plates stick slip model is given. Convergence of evolution in time to some statistically stable state of self-organized criticality is shown. Properties of model solutions under various boundary conditions and character of main parameters statistical distributions are received.

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрены закономерности степенных распределений как класса устойчивых распределений. Дано описание модели OFC (Олами, Федер, Кристиансен) как базовой модели скольжения тектонических плит. Показана сходимость эволюции во времени к некоторому устойчивому состоянию, определяемому как состояние самоорганизованной критичности. Исследованы свойства модельных решений при различных граничных условиях и характер статистических распределений основных параметров.

© А.С. Черепанцев, 2009

# КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ НЕЛОКАЛЬНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ ДРОБНОГО ПОРЯДКА

**Шевякова О.П.**

(Россия, г. Майкоп)

**1. Введение.** Дифференциальные уравнения с частными производными дробного порядка, являясь обобщением уравнений с частными производными целочисленного порядка, кроме теоретического интереса, имеют большое практическое значение. Такие уравнения выступают в качестве математических моделей различных процессов и явлений в средах с фрактальной структурой. Применению дробного исчисления в математическом моделировании посвящены работы В.М. Головизнина, В.Л. Кобелева, А.М. Нахушева, В.А. Нахушевой, Р.Р. Нигматуллина, К.В. Чукбара и других авторов.

Основой большинства моделей, описывающих физические и химические процессы, протекающие во фрактальных средах, экономические и социально-биологические явления, служат дифференциальные уравнения дробного порядка, в том числе уравнения в частных производных.

Рассмотрим краевые задачи для дифференциальных уравнений с производными Римана–Лиувилля и Капуто порядка меньше либо равного единице и уравнений с оператором дробного дифференцирования с фиксированными началом и концом и усреднением по одной из независимых переменных.

**2. Уравнения порядка меньше либо равного единице с операторами интегродифференцирования с различными началами.** В прямоугольной области  $\Omega = \{(x, y) : 0 < x < a, 0 < y < b\}$  евклидовой плоскости точек  $(x, y)$  рассмотрим дифференциальное уравнение

$$D_{0x}^\alpha u(x, y) + AD_{0y}^\beta u(x, y) + \sum_{j=1}^n a_j D_{0x}^{\alpha_j} u(x, y) + BD_{ax}^\gamma u(x, y) = f(x, y), \quad (1)$$

где  $0 < \alpha, \beta \leq 1$ ;  $\alpha\beta < 1$ ;  $\gamma \leq 0$ ;  $\alpha_j \leq 0$ ,  $j = \overline{1, n}$ , – действительные числа;  $A, B, a_j, j = \overline{1, n}$ , – постоянные величины,  $D_{ct}^\mu$  – оператор дробного интегродифференцирования (в смысле Римана–Лиувилля) порядка  $|\mu|$  с началом в точке  $c$  и концом в точке  $t$  [1, с.9], который определяется следующим образом

$$D_{ct}^\mu g(\xi) = \begin{cases} \frac{\text{sign}(t-c)}{\Gamma(-\mu)} \int_c^t \frac{g(\xi)}{|t-\xi|^{\mu+1}} d\xi & \text{при } \mu < 0, \\ \text{sign}^{[\mu]+1}(t-c) \frac{d^{[\mu]+1}}{dt^{[\mu]+1}} D_{ct}^{\mu-[\mu]-1} g(t) & \text{при } \mu \geq 0. \end{cases}$$

Здесь  $\Gamma(z)$  – гамма - функция Эйлера;  $[\mu]$  – целая часть числа  $\mu$ . По определению  $D_{ct}^n g(t) = \text{sign}^n(t - c)g^n(t)$ ,  $n = 1, 2, \dots$ . Для функции  $u(x, y)$ , зависящей от двух переменных, оператор частного интегриродифференцирования по переменной  $x$   $D_{cx}^\mu u(x, y)$  определяется также, как и для функции одной переменной, при этом вторая переменная  $y$  рассматривается как параметр. Оператор частного интегриродифференцирования по переменной  $y$  определяется аналогично.

Для уравнения (1) краевые задачи были исследованы в работе [2] в случае, когда  $B = 0$ ,  $a_j = 0, j = \overline{1, n}$ ; в работе [3, с. 92-93] в случае, когда  $\gamma = 0$ ,  $a_j = 0, j = \overline{1, n}$ .

Регулярным решением уравнения (1) в области  $\Omega$  назовем функцию  $u = u(x, y)$  из класса  $x^{1-\alpha}y^{1-\beta}u(x, y) \in C(\overline{\Omega})$ ,  $D_{0x}^\alpha u, D_{0y}^\beta u \in C(\Omega)$ , удовлетворяющую уравнению (1) во всех точках  $(x, y) \in \Omega$ .

Сформулируем следующую краевую задачу.

**Задача 1.1.** Найти регулярное решение  $u = u(x, y)$  уравнения (1),  $0 < \alpha, \beta \leq 1$ ,  $\alpha\beta < 1$ ,  $\gamma \leq 0$ ,  $\alpha_j \leq 0, j = \overline{1, n}$ , в области  $\Omega$ , удовлетворяющее краевым условиям

$$\lim_{y \rightarrow 0} D_{0y}^{\beta-1} u(x, y) = \psi(x), \quad 0 < x < a, \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} D_{0x}^{\alpha-1} u(x, y) = \varphi(y), \quad 0 < y < b, \quad (3)$$

где  $\varphi(y)$ ,  $\psi(x)$  – заданные функции.

Заметим, что если  $t^{1-\mu}g(t) = g_0(t) \in C[0, 1]$ ,  $0 < \mu < 1$ , то

$$\lim_{t \rightarrow 0} D_{0t}^{\mu-1} g(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\mu)} \lim_{t \rightarrow 0} \int_0^t \frac{g_0(\xi)\xi^{\mu-1}}{(t-\xi)^\mu} d\xi = \Gamma(\mu) \lim_{t \rightarrow 0} t^{1-\mu} g(t).$$

Поэтому условия (2), (3), заданные в нелокальной постановке, эквивалентны условиям в локальной постановке (по терминологии А.М. Нахушева [4, с. 27])

$$\Gamma(\beta) \lim_{y \rightarrow 0} y^{1-\beta} u(x, y) = \psi(x), \quad \Gamma(\alpha) \lim_{x \rightarrow 0} x^{1-\alpha} u(x, y) = \varphi(y).$$

Используя обобщенный принцип сжатых отображений [5, с. 15], доказана теорема существования и единственности решения задачи 1.1 в классе функций, допускающих особенности на начальных линиях, порядок которых зависит от порядка производных главной части.

**Теорема 1.1.** Пусть  $A > 0$ ,  $0 < \alpha, \beta \leq 1$ ,  $\alpha\beta < 1$ ,  $\gamma \leq 0$ ,  $\alpha_j \leq 0, j = \overline{1, n}$ ,  $x^{1-\alpha}\psi(x) \in C[0, a]$ ,  $y^{1-\beta}\varphi(y) \in C[0, b]$ ,  $x^{1-\alpha}y^{1-\beta}f(x, y) \in C(\overline{\Omega})$ ,  $f(x, y)$  удовлетворяет условию Гёльдера по переменной  $x$ , и выполнено условие согласования

$$\lim_{y \rightarrow 0} D_{0y}^{\beta-1} \varphi(y) = \lim_{x \rightarrow 0} D_{0x}^{\alpha-1} \psi(x),$$

тогда в области  $\Omega$  существует единственное регулярное решение уравнения (1), удовлетворяющее краевым условиям (2) и (3).

Далее сформулируем задачу для уравнения вида (1) с регуляризованными дробными производными (производными Капуто).

В области  $\Omega = \{(x, y) : 0 < x < a, 0 < y < b\}$  рассмотрим уравнение

$$\partial_{0x}^{\alpha} u(x, y) + \partial_{0y}^{\beta} u(x, y) + \sum_{j=1}^n a_j D_{0x}^{\alpha_j} u(x, y) + BD_{ax}^{\gamma} u(x, y) = f(x, y), \quad (4)$$

где  $0 < \alpha, \beta \leq 1$ ,  $\gamma \leq 0$ ,  $\alpha_j \leq 0$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $\partial_{ct}^{\mu}$  – оператор дробного дифференцирования (по Капуто) порядка  $\mu$  с началом и концом в точках  $c$  и  $t$  [1, с. 11]:

$$\partial_{ct}^{\mu} g(t) = \text{sign}^n(t - c) D_{ct}^{\mu-n} g^{(n)}(t), \quad n - 1 < \mu \leq n, \quad n = 1, 2, \dots$$

**Задача 1.2.** Найти регулярное решение  $u = u(x, y)$  уравнения (4) в области  $\Omega$ , удовлетворяющее краевым условиям

$$u(x, 0) = \psi(x), \quad x \in [0, a]; \quad u(0, y) = \varphi(y), \quad y \in [0, b], \quad (5)$$

где  $\psi, \varphi$  – заданные непрерывные функции.

Регулярным решением уравнения (4) в области  $\Omega$  назовем функцию  $u = u(x, y)$  из класса  $u(x, y) \in C(\overline{\Omega})$ ,  $\partial_{0x}^{\alpha} u, \partial_{0y}^{\beta} u \in C(\Omega)$ , удовлетворяющую уравнению (4) в области  $\Omega$ .

Справедлива следующая теорема.

**Теорема 1.2.** Пусть  $0 < \alpha, \beta \leq 1$ ,  $\alpha\beta < 1$ ,  $\gamma \leq 0$ ,  $\alpha_j \leq 0$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $\psi(x) \in C[0, a]$ ,  $\varphi(y) \in C[0, b]$ ,  $f(x, y) \in C(\overline{\Omega})$ ,  $f(x, y)$  удовлетворяет условию Гёльдера по переменной  $x$ , и выполнено условие согласования  $\psi(0) = \varphi(0)$ .

Тогда существует единственное регулярное решение уравнения (4) в области  $\Omega$ , удовлетворяющее краевым условиям (5).

Исследуем уравнение с производными Римана-Лиувилля, когда коэффициенты при дробной производной и дробном интеграле по переменной  $y$  являются отрицательными.

**Задача 1.3** Найти регулярное решение  $u = u(x, y)$  уравнения

$$u_x(x, y) - AD_{0y}^{\beta} u(x, y) - CD_{by}^{\delta} u(x, y) = f(x, y), \quad (6)$$

$0 < \beta < 1$ ,  $\delta \leq 0$ ,  $A > 0$ ,  $C > 0$ , в области  $\Omega$ , удовлетворяющее краевым условиям

$$\lim_{y \rightarrow 0} D_{0y}^{\beta-1} u(x, y) = \psi(x), \quad \left( \Gamma(\beta) \lim_{y \rightarrow 0} y^{1-\beta} u(x, y) = \psi(x) \right), \quad 0 < x < a, \quad (7)$$

$$u(a, y) = \varphi(y), \quad 0 < y < b, \quad (8)$$

где  $\varphi(y), \psi(x)$  – заданные функции.



Существование решения доказано методом редукции к интегральному уравнению Фредгольма 2-го рода, а единственность доказана с использованием свойств положительности операторов дробного интегрирования и дифференцирования [1, с. 45, 46].

**Теорема 1.3.** Пусть  $0 < \beta < 1$ ,  $\delta \leq 0$ ,  $A > 0$ ,  $C > 0$ ,  $\psi(x) \in C[0, a]$ ,  $y^{1-\beta}\varphi(y) \in C[0, b]$ ,  $y^{1-\beta}f(x, y) \in C(\bar{\Omega})$ ,  $f(x, y)$  удовлетворяет условию Гёльдера по переменной  $y$ , и выполнено условие согласования

$$\lim_{y \rightarrow 0} D_{0y}^{\beta-1} \varphi(y) = \psi(a) \left( \Gamma(\beta) \lim_{y \rightarrow 0} y^{1-\beta} \varphi(y) = \psi(a) \right),$$

тогда в области  $\Omega$  существует единственное регулярное решение уравнения (6), удовлетворяющее краевым условиям (7) и (8).

Обобщая полученные результаты, доказана единственность решения краевой задачи для уравнения с частными производными дробного порядка с различными начальными в главной части.

Рассмотрим краевую задачу для дифференциального уравнения

$$(D_{0x}^\alpha + BD_{ax}^\gamma)u(x, y) + (AD_{0y}^\beta + CD_{by}^\delta)u(x, y) + \left( \sum_{j=1}^n a_j D_{0x}^{\alpha_j} + \sum_{i=1}^m b_i D_{0y}^{\beta_i} \right) u(x, y) = f(x, y), \quad (9)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \alpha_j, j = \overline{1, n}, \beta_i, i = \overline{1, m}$  – действительные числа;  $A, B, C, a_j, j = \overline{1, n}, b_i, i = \overline{1, m}$ , – постоянные величины.

**Задача 1.4** Найти решение  $u = u(x, y)$  уравнения (9),  $0 < \alpha, \beta < 1$ ,  $-1 < \alpha_j < \alpha, j = \overline{1, n}, -1 < \beta_i < \beta, i = \overline{1, m}, |\gamma| < 1, |\delta| < 1$ , в области  $\Omega$  такое, что  $x^{1-\alpha}y^{1-\beta}u(x, y) \in C(\bar{\Omega})$  и  $u(x, y)$  удовлетворяет краевым условиям (2), (3), где  $\varphi(y)$ ,  $\psi(x)$  – заданные функции.

Используя свойства положительности операторов дробного интегрирования и дифференцирования [1, с. 45, 46], [6], доказана следующая теорема.

**Теорема 1.4.** Пусть  $0 < \alpha, \beta < 1$ ,  $-1 < \alpha_j < \alpha, j = \overline{1, n}, -1 < \beta_i < \beta, i = \overline{1, m}, |\gamma| < 1, |\delta| < 1$ ;  $A > 0, B \geq 0, C \geq 0, a_j \geq 0, j = \overline{1, n}, b_i \geq 0, i = \overline{1, m}$ , тогда существует не более одного решения  $u = u(x, y)$  задачи (9), (2), (3), такого, что  $x^{1-\alpha}y^{1-\beta}u(x, y) \in C(\bar{\Omega})$ .

Показано, что теорема 1.4 справедлива, если  $A = A(x, y), a_j = a_j(x, y), j = \overline{1, n}, b_i = b_i(x, y), i = \overline{1, m}$ , и функция  $A(x, y)$  непрерывна, положительна и при фиксированном  $x$  является невозрастающей на сегменте  $[0, b]$  как функция переменной  $y$ , функции  $b_i(x, y), i = \overline{1, m}$ , непрерывны, неотрицательны и при фиксированном  $x$  являются невозрастающими на сегменте  $[0, b]$  как функции переменной  $y$ , а функции  $a_j(x, y), j = \overline{1, n}$ , непрерывны, неотрицательны и при фиксированном  $y$  являются невозрастающими на  $[0, a]$  как функции переменной  $x$ .

### 3. Задачи для уравнений с оператором дробного дифференцирования с фиксированными началом и концом.

Исследуем краевые задачи для нагруженных дифференциальных уравнений с усреднением и оператором дробного дифференцирования с фиксированными началом и концом.

В области  $\Omega = \{(x, y) : 0 < x < a, 0 < y < b\}$  ставится задача для уравнения

$$D_{0y}^{\beta} \bar{u}(y) = AI_{0a}^{\alpha} u(x, y), \quad (10)$$

где  $0 < \alpha, \beta < 1$ ,  $A = \text{const} \neq 0$ ,  $\bar{u}(y)$  – среднее значение функции  $u(x, y)$  по переменной  $x$  на сегменте  $[0, a]$ :

$$\bar{u}(y) = \frac{1}{a} \int_0^a u(x, y) dx,$$

$D_{0y}^{\beta}$  – оператор дробного дифференцирования (в смысле Римана-Лиувилля) порядка  $\beta$  с началом в точке 0 и концом в точке  $y$ ,  $I_{0a}^{\alpha}$  – оператор дробного дифференцирования порядка  $\alpha$  с фиксированными началом и концом в точках  $x = 0$  и  $x = a$ , который действует на функцию  $u(x, y)$  по переменной  $x$  и при  $\alpha > 0$  определяется следующим образом [1, с. 49]:

$$I_{0a}^{\alpha} u(x, y) = (D_{0x}^{\alpha} + (-1)^{[\alpha]+1} D_{ax}^{\alpha}) u(x, y) = \frac{\partial^{[\alpha]+1}}{\partial x^{[\alpha]+1}} I_{0a}^{\alpha-[\alpha]-1} u(x, y).$$

Решение уравнения (10) может быть использовано при нахождении приближенного решения уравнения [7]:

$$D_{0y}^{\beta} u(x, y) = AI_{0a}^{\alpha} u(x, y).$$

**Задача 2.1.** Найти решение  $u = u(x, y)$  уравнения (10),  $0 < \alpha, \beta < 1$ , в области  $\Omega$ , удовлетворяющее краевым условиям

$$\lim_{x \rightarrow 0} x^{(1-\alpha)/2} u(x, y) = \varphi(y), \quad 0 < y < b, \quad (11)$$

$$\lim_{y \rightarrow 0} D_{0y}^{\beta-1} \bar{u}(y) = \delta_0, \quad (12)$$

где  $\varphi(y)$  – заданная функция,  $\delta_0$  – заданная постоянная величина.

Регулярным решением уравнения (10) в области  $\Omega$  будем называть решение  $u = u(x, y)$ , такое, что  $y^{1-\beta} [x(a-x)]^{(1-\alpha)/2} u(x, y) \in C(\bar{\Omega})$ ,  $D_{0y}^{\beta} \bar{u}(y) \in C(0, b)$ ,  $I_{0a}^{\alpha-1} u(x, y) \in C^1(\Omega)$ .

Доказана теорема существования и единственности решения задачи 2.1 для уравнения (10).

**Теорема 2.1.** Пусть  $0 < \alpha, \beta < 1$ ,  $\varphi(y) \in C[0, b]$ . Тогда в области  $\Omega$  уравнение (10) имеет единственное регулярное решение, удовлетворяющее

краевым условиям (11), (12). Это решение задается формулой

$$u(x, y) = B(x)\varphi(y) + \frac{1}{A}A(x) \left[ G(y) + \lambda \left\{ \delta_0 y^{\beta-1} E_{1/\beta}(\lambda y^\beta; \beta) + \int_0^y G(t)(y-t)^{\beta-1} E_{1/\beta}(\lambda(y-t)^\beta; \beta) dt \right\} \right].$$

Здесь  $E_{1/\rho}(z; \mu) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\rho k + \mu)}$  – функция типа Миттаг-Леффлера [8],  $A(x)$ ,  $B(x)$ ,  $G(y)$ ,  $\lambda$  определяются соотношениями

$$B(x) = \left[ \frac{x(a-x)}{a} \right]^{(\alpha-1)/2},$$

$$A(x) = \frac{1}{2\Gamma(\alpha+1) \sin\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right)} x^{(\alpha+1)/2} (a-x)^{(\alpha-1)/2},$$

$$A_0 = \frac{a^\alpha}{4} \frac{B\left(\frac{\alpha+1}{2}, \frac{\alpha+1}{2}\right)}{\Gamma(\alpha+1) \sin\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right)}, \quad B_0 = a^{(\alpha-1)/2} B\left(\frac{\alpha+1}{2}, \frac{\alpha+1}{2}\right),$$

$$\lambda = A/A_0, \quad G(y) = -\frac{AB_0}{A_0} \varphi(y).$$

Рассмотрим задачу для уравнения (10) при  $0 < \beta < 1$ ,  $1 < \alpha < 2$ .

**Задача 2.2.** Найти решение  $u = u(x, y)$  уравнения (10),  $0 < \beta < 1$ ,  $1 < \alpha < 2$ , в области  $\Omega$ , удовлетворяющее краевым условиям

$$\lim_{x \rightarrow 0} x^{(2-\alpha)/2} u(x, y) = \varphi(y), \quad 0 < y < b, \quad (13)$$

$$\lim_{x \rightarrow a} (a-x)^{(2-\alpha)/2} u(x, y) = \psi(y), \quad 0 < y < b, \quad (14)$$

$$\lim_{y \rightarrow 0} D_{0y}^{\beta-1} \bar{u}(y) = \delta_0, \quad (15)$$

где  $\varphi(y)$ ,  $\psi(y)$  – заданные функции,  $\delta_0$  – заданная постоянная величина.

Регулярным решением рассматриваемого уравнения в области  $\Omega$  будем называть решение  $u = u(x, y)$ , такое, что  $D_{0y}^\beta \bar{u}(y) \in C(0, b)$ ,  $I_{0a}^{\alpha-2} u(x, y) \in C^2(\Omega)$ ,  $y^{1-\beta} [x(a-x)]^{(2-\alpha)/2} u(x, y) \in C(\bar{\Omega})$ .

Пусть

$$A_0 = \frac{a^\alpha}{2} \frac{B\left(\frac{\alpha+2}{2}, \frac{\alpha+2}{2}\right)}{\Gamma(\alpha+1) \cos\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right)}, \quad B_0 = a^{(\alpha-2)/2} B\left(\frac{\alpha}{2}, \frac{\alpha+2}{2}\right),$$

$$\lambda = A/A_0, \quad G(y) = -\frac{AB_0}{A_0} (\varphi(y) + \psi(y)). \quad (16)$$

Справедлива следующая теорема.

**Теорема 2.2.** Пусть  $0 < \beta < 1$ ,  $1 < \alpha < 2$ ,  $\varphi(y), \psi(y) \in C[0, b]$ . Тогда в области  $\Omega$  уравнение (10) имеет единственное регулярное решение, удовлетворяющее краевым условиям (13)–(15). Это решение задается формулой

$$u(x, y) = x^{(\alpha-2)/2} \left( \frac{a-x}{a} \right)^{\alpha/2} \varphi(y) + \left( \frac{x}{a} \right)^{\alpha/2} (a-x)^{(\alpha-2)/2} \psi(y) + \frac{1}{2A\Gamma(\alpha+1) \cos\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right)} [x(a-x)]^{\alpha/2} \left[ G(y) + \lambda \left\{ \delta_0 y^{\beta-1} E_{1/\beta}(\lambda y^\beta; \beta) + \int_0^y G(t)(y-t)^{\beta-1} E_{1/\beta}(\lambda(y-t)^\beta; \beta) dt \right\} \right],$$

где  $G(y)$  и  $\lambda$  определяются соотношениями (16).

Сформулируем задачу для уравнения (10) при  $m-1 < \beta \leq m$ ,  $m \in \mathbb{N}$ ,  $1 < \alpha < 2$ .

**Задача 2.3.** Найти решение  $u = u(x, y)$  уравнения (10),  $1 < \alpha < 2$ ,  $m-1 < \beta \leq m$ ,  $m \in \mathbb{N}$ , в области  $\Omega$ , удовлетворяющее краевым условиям (13), (14) и

$$\lim_{y \rightarrow 0} D_{0y}^{\beta-k} \bar{u}(y) = \delta_k, \quad k = \overline{1, m}, \quad (17)$$

где  $\varphi(y)$ ,  $\psi(y)$  – заданные функции,  $\delta_k$ ,  $k = \overline{1, m}$  – заданные постоянные величины.

Регулярным решением рассматриваемого уравнения в области  $\Omega$  будем называть решение  $u = u(x, y)$ , такое, что  $y^{m-\beta} [x(a-x)]^{(2-\alpha)/2} u(x, y) \in C(\overline{\Omega})$ ,  $m \in \mathbb{N}$ ,  $D_{0y}^\beta \bar{u}(y) \in C(0, b)$ ,  $D_{0y}^{\beta-k} \bar{u}(y) \in C[0, b]$ ,  $k = \overline{1, m}$ ,  $I_{0a}^{\alpha-2} u(x, y) \in C^2(\Omega)$ .

**Теорема 2.3.** Пусть  $1 < \alpha < 2$ ,  $m-1 < \beta \leq m$ ,  $m \in \mathbb{N}$ ,  $\varphi(y), \psi(y) \in C[0, b]$ . Тогда в области  $\Omega$  уравнение (10) имеет единственное регулярное решение, удовлетворяющее краевым условиям (13), (14), (17). Это решение задается формулой

$$u(x, y) = x^{(\alpha-2)/2} \left( \frac{a-x}{a} \right)^{\alpha/2} \varphi(y) + \left( \frac{x}{a} \right)^{\alpha/2} (a-x)^{(\alpha-2)/2} \psi(y) + \frac{1}{2A\Gamma(\alpha+1) \cos\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right)} [x(a-x)]^{\alpha/2} \times \left[ G(y) + \lambda \left\{ \sum_{k=1}^m \delta_k y^{\beta-k} E_{1/\beta}(\lambda y^\beta; \beta - k + 1) + \int_0^y G(t)(y-t)^{\beta-1} E_{1/\beta}(\lambda(y-t)^\beta; \beta) dt \right\} \right],$$

где  $G(y)$  и  $\lambda$  определяются соотношениями (16).

Рассмотрим уравнение типа (10) с производной Капуто

$$\partial_{0y}^{\beta} \bar{u}(y) = AI_{0a}^{\alpha} u(x, y), \quad (18)$$

где  $1 < \alpha < 2$ ,  $m - 1 < \beta \leq m$ ,  $m \in \mathbb{N}$ .

Краевая задача для уравнения (18) формулируется следующим образом.

**Задача 2.4.** Найти решение  $u = u(x, y)$  уравнения (18),  $1 < \alpha < 2$ ,  $m - 1 < \beta \leq m$ ,  $m \in \mathbb{N}$ , в области  $\Omega$ , удовлетворяющее краевым условиям (13), (14) и

$$\bar{u}^{(m-k)}(0) = \delta_k, \quad k = \overline{1, m}, \quad (19)$$

где  $\varphi(y)$ ,  $\psi(y)$  – заданные функции,  $\delta_k$ ,  $k = \overline{1, m}$  – заданные постоянные величины.

Регулярным решением уравнения (18) в области  $\Omega$  будем называть решение  $u = u(x, y)$ , такое, что  $[x(a-x)]^{(2-\alpha)/2} u(x, y) \in C(\bar{\Omega})$ ,  $\partial_{0y}^{\beta} \bar{u}(y) \in C(0, b)$ ,  $\bar{u}(y) \in C^{m-1}[0, b]$ ,  $m \in \mathbb{N}$ ,  $I_{0a}^{\alpha-2} u(x, y) \in C^2(\Omega)$ .

Имеет место теорема.

**Теорема 2.4.** Пусть  $1 < \alpha < 2$ ,  $m - 1 < \beta \leq m$ ,  $m \in \mathbb{N}$ ,  $\varphi(y)$ ,  $\psi(y) \in C[0, b]$ . Тогда в области  $\Omega$  уравнение (18) имеет единственное регулярное решение, удовлетворяющее краевым условиям (13), (14), (19). Это решение задается формулой

$$\begin{aligned} u(x, y) = & x^{(\alpha-2)/2} \left( \frac{a-x}{a} \right)^{\alpha/2} \varphi(y) + \left( \frac{x}{a} \right)^{\alpha/2} (a-x)^{(\alpha-2)/2} \psi(y) + \\ & + \frac{1}{2A\Gamma(\alpha+1) \cos\left(\frac{\alpha\pi}{2}\right)} [x(a-x)]^{\alpha/2} \times \\ & \times \left[ G(y) + \lambda \left\{ \sum_{k=1}^m \delta_k y^{m-k} E_{1/\beta}(\lambda y^{\beta}; m-k+1) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \int_0^y G(t) (y-t)^{\beta-1} E_{1/\beta}(\lambda (y-t)^{\beta}; \beta) dt \right\} \right], \end{aligned}$$

где  $G(y)$  и  $\lambda$  определяются соотношениями (16).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение. – М., 2003. – 272 с.
2. Псху А.В. Решение краевой задачи для уравнения с частными производными дробного порядка // Дифференц. уравнения. – 2003. – Т. 39. – №8. – С. 1092 – 1099
3. Псху А.В. Уравнения в частных производных дробного порядка. – М., 2005. – 199 с.

4. *Нахушев А.М.* Об уравнениях состояния одномерных непрерывных систем и их приложениях. – Нальчик, 1995. – 59 с.
5. *Нахушев А.М.* Уравнения математической биологии. – М., 1995. – 301 с.
6. *Нахушев А.М.* Еще раз об одном свойстве оператора Римана-Лиувилля // Докл. Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. – 2001. – Т. 5. – №2. – С. 42 – 43.
7. *Нахушев А.М.* Об одном приближенном методе решения краевых задач для дифференциальных уравнений и его приложения к динамике почвенной влаги и грунтовых вод // Дифференц. уравнения. – 1982. – Т. 18. – №1. – С. 72 – 81.
8. *Джрбашьян М.М.* Интегральные преобразования и представления функций в комплексной области. – М., 1966. – 672 с.

### ABSTRACT

This work considers the boundary value problems for non-local differential equations with partial derivatives of fractional order. The theorems of existence and uniqueness of solution of these problems have been proved.

### АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрены краевые задачи для дифференциальных уравнений дробного порядка. Доказаны теоремы существования и единственности решения исследуемых краевых задач.

© О.П. Шевякова, 2009

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЬДООБРАЗУЮЩИХ И КОНДЕНСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ ТЕТРАБУТИЛАММОНИЯ ВО ФРЕОНЕ

*Шогенова М.М.*  
(Россия, г. Нальчик)

Льдообразующие аэрозоли – одно из основных средств искусственного воздействия на переохлажденные облака и туманы.

Искусственные льдообразующие реагенты в настоящее время являются наиболее эффективным средством для искусственного воздействия на градообразование. Значение их особенно возросло с развитием методов оперативного воздействия, основанных на использовании автономных генераторов аэрозоля, транспортируемых непосредственно в зону воздействия. С их помощью при сравнительно незначительных расходах реагента в конвективных облаках можно создать необходимое количество искусственных льдообразующих зародышей града.

Йодистое серебро (AgI) до сих пор остается самым эффективным льдообразующим реагентом. Но реагенты на основе йодистого серебра имеют ряд недостатков. Во-первых, они очень дорогие, во-вторых, у них низкий порог кристаллизации, равный для йодистого серебра  $-6^{\circ}\text{C}$ , поэтому облачный слой от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $-6^{\circ}\text{C}$  остается вне воздействия при использовании йодистого серебра. В настоящее время поиски новых кристаллизующих реагентов, связаны с необходимостью максимально увеличить их активность, особенно при близких к нулю температурах, найти нетоксичные реагенты.

В ВГИ разработаны новые экологически чистые реагенты, представляющие собой растворы солей тетрабутиламония бромиды ( $R_1$ ) и тетрабутиламония йодида ( $R_2$ ) в экологически чистом фреоне.

Исследуемые соли имеют полуклатратную структуру [1]. Рассмотрим случай тетрабутиламония бромиды. Молекула  $R_1$ , попадая в пар, диссоциирует. Анион ( $\text{Br}^-$ ) встраивается в кристаллическую структуру воды, а катион (алкидный радикал) размещается в полости уже водноанионной, а не водной решетки, тем самым стабилизируя кристаллическую структуру воды и понижая давление над ней. Мы считаем, что именно этим объясняется высокий порог кристаллизации и высокий выход ледяных кристаллов.

Для проведения исследований был разработан комплекс аппаратуры состоящий из облачной камеры [5], термодиффузионной камеры «Град-3» [2,3]. В облачной камере, создавалось искусственное капельное облако. В термодиффузионной камере «Град-3» определялись конденсационные свойства исследуемых растворов солей. Для введения в облачную камеру искусственного аэрозоля были разработаны устройства для распыления жидкости в атмосферу и устройство для распыления жидкости под давлением [1]. Эти устройства имеют простую конструкцию и более расширенные функциональные возможности, которые обеспечивали условия внесения в камеру исследования облачных процессов микродоз жидкого реагента на уровне объемов  $10^{-2}$ - $10^{-1}$  мм<sup>3</sup>. В отличие от известных устройств

эти устройства обеспечивали управление и контроль за расходом жидких реагентов при распылении в малых дозах. Сущность устройства поясняется чертежом (рис.1), где представлен общий вид устройства для распыления жидкости в атмосферу.

Устройство содержит баллон **1** с жидким реагентом **2**, в качестве которого может быть использован, например фреон 134а с солями тетраалкиламмония. Устройство содержит также патрубок **3**, к выпускному отверстию **4** которого примыкает запорное устройство **5**, выполненное в виде игольчатого вентиля. В верхней части баллона **1** размещена заглушка **6**, по оси которой установлен заправочный узел **7** с обратным клапаном (клапан на рисунке не показан). К выпускному патрубку **3** с помощью резьбового соединения **8** прикреплен трубчатый кронштейн **9** с симметрично расположенными по бокам смотровыми окнами **10**. По оси трубчатого кронштейна размещен мерный капилляр **11** со шкалой **12** и калиброванным отверстием **13**, имеющим диаметр 0,1-0,5 мм. Конец мерного капилляра **11** выполнен суженным и представляет собой по существу распылитель **14**. Размещенный в патрубке **3** конец мерного капилляра **11** содержит жестко прикрепленный к нему фланец **15**. Между корпусом баллона **1** и фланцем **15** размещен упругий уплотнитель **16** с центральным отверстием **17**, совмещенным с выпускным отверстием патрубка **4**. Трубчатый кронштейн **9** содержит на конце запорный орган в виде штока **18** с упругим наконечником **19**, прижатым к концу распылителя **14** с помощью пружины **20**. Шток **18** размещен по оси фиксирующей головки **21**, снабженной смотровыми окнами **22**. Фиксирующая головка **21** прикреплена к концу трубчатого кронштейна **9** с помощью резьбового соединения **23**. Шток **18** на выходе содержит стопорную гайку **24**, с которой связан привод, выполненный в данном случае в виде рычажной вилки **25**, примыкающий к гайке **24** снизу. Свободный конец рычажной вилки **25** связан посредством тяги **26** со спусковым крючком **27**, шарнирно прикрепленным к стопорному кольцу **28**. Стопорное кольцо **28** размещено между трубчатым кронштейном **9** и патрубком **3**.

Определение льдообразующей активности реагентов связано с подсчетом ледяных кристаллов, выпадающих на дно облачной камеры при введении в переохлажденный пар определенного количества льдообразующего реагента в виде аэрозоля. Ледяные кристаллы подсчитываются с помощью оптического микроскопа, для этого ледяного кристаллы нужно сохранить, чтобы они не растаяли, пока их считают. В наших экспериментах мы использовали два способа сохранения кристаллов.

Первый состоит в том, что кристаллы выпадают на стеклянные пластинки, которые помещаются на массивные медные шайбы. После выпадения пластинки с шайбами помещаются на охлаждаемый до  $-10^{\circ}\text{C}$  столик микроскопа МБС-8. За счет охлаждаемого столика кристаллы сохраняются в течении 10- 15 минут, достаточных для подсчета кристаллов.



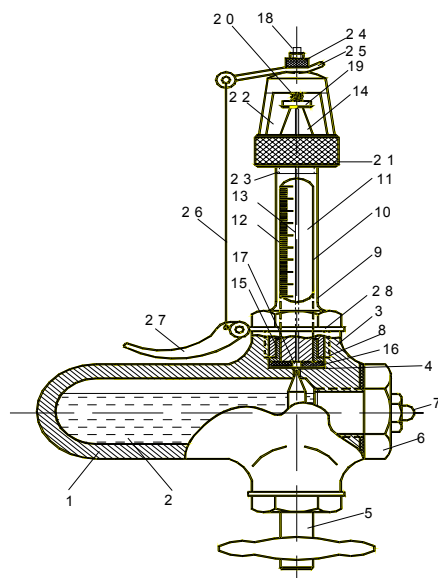


Рис.1. Устройство для распыления жидкости в атмосферу.

Льдообразующая эффективность реагентов включает в себя следующие три компонента:

- выход кристаллов - число ледяных кристаллов, образовавшихся в переохлажденном облаке при данной температуре в результате диспергирования единичного веса вещества;
- температурный порог льдообразования – температура при которой в переохлажденном облаке в результате внесения аэрозоля появляются кристаллы;
- время срабатывания реагента- время за которое появляется наблюдаемый размер кристаллов льда после внесения реагента.

Опыты по определению льдообразующей эффективности проводились при определенных температурах в облачной камере (-1,5- -10°C) для различных растворов солей и чистого фреона.

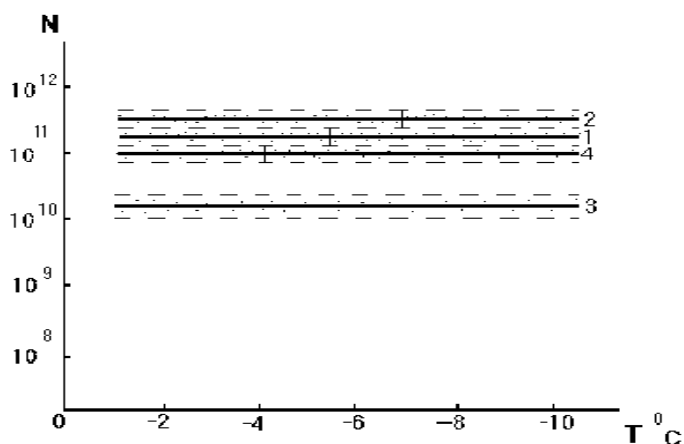


Рис.2 Льдообразующая активность растворов солей  $R_1$ ,  $R_2$ , фреона 134a. (1- среднее значение льдообразующей активности  $R_1$ , 2- среднее значение льдообразующей активности  $R_2$ , 3- среднее значение льдообразующей активности фреона 134a, 4- среднее значение льдообразующей активности  $R_1$ , полученное при использовании нового дозатора).

В результате проведенных экспериментов установлено [5], что среднее значение удельного выхода ледяных кристаллов с одного грамма реагента  $R_1$  составляет  $1,2 \cdot 10^{11} \text{ г}^{-1}$ , реагента  $R_2$  -  $3,9 \cdot 10^{11} \text{ г}^{-1}$  для чистого фреона -  $2 \cdot 10^{10} \text{ г}^{-1}$ . На графике (рис.2) приведены зависимости средних значений удельного выхода кристаллов от температуры в камере для реагентов  $R_1$ ,  $R_2$  и чистого фреона, при доверительном уровне 0,95. При пересчете на соль льдообразующая активность составляет  $10^{13} \text{ г}^{-1}$ . Выход ледяных кристаллов растворов солей  $R_1$  и  $R_2$  почти не зависит от концентрации раствора. Это по-видимому, связано с тем что при распылении фреона число капель в которых растворена соль, остается постоянным, а концентрация раствора влияет только на размер частиц соли, которые остаются после испарения фреона и являются центрами кристаллизации.

Температура, при которой появляются кристаллы при введении в переохлажденный пар растворов солей  $R_1$  и  $R_2$  (порог кристаллизации) близка к  $0^\circ\text{C}$ . Определение порога кристаллизации в этой области температур, связано с большими трудностями, поэтому в наших экспериментах четко фиксируется пороговая температура  $-1^\circ\text{C}$ .

Таблица 1. Результаты исследования растворов солей

| $R_1$ |     |             | $R_2$ |       |             | $NaCl$ |     |           |
|-------|-----|-------------|-------|-------|-------------|--------|-----|-----------|
| I     | II  | III         | I     | II    | III         | I      | II  | III       |
| 0     | 15с |             | 0     | 1 мин |             | 0      | 5с  |           |
| 0     | 1с  |             | 0     | 5 мин |             | 0      | 3 с |           |
| 0     | 10с |             | 0     | 5 мин |             | 0      | 5 с |           |
| 0     | 2с  |             | 0     | 2 мин |             | 0      | 0 с |           |
| 0     | 5с  | $10^{12}$ - | 0     | 3,5   | $10^{12}$ - | 0      | 2 с | $10^9$ -  |
|       |     |             |       | мин   |             |        |     |           |
| +1    | 3с  | $10^{14}$   | +1    | 3 мин | $10^{14}$   | +1     | 7 с | $10^{10}$ |
| +1    | 0с  |             | +1    | 5 мин |             | +1     | 5 с |           |
| +1    | 5с  |             | +1    | 1 мин |             | +1     | 3 с |           |
| +1    | 0с  |             | +1    | 1,5   |             | +1     | 2 с |           |
|       |     |             |       | мин   |             |        |     |           |
| +1    | 3с  |             | +1    | 1,5   |             | +1     | 0 с |           |
|       |     |             |       | мин   |             |        |     |           |
| +2    | 3с  |             | +2    | 3 мин |             | +2     | 5 с |           |
| +2    | 10с |             | +2    | 1 мин |             | +2     | 3 с |           |
| +2    | 3с  |             | +2    | 5 мин |             | +2     | 1 с |           |
| +2    | 0с  |             | +2    | 3 мин |             | +2     | 1 с |           |
| +2    | 3с  |             | +2    | 2 мин |             | +2     | 2 с |           |

I - температура подложки,  $^\circ\text{C}$ ; II - время появления ядер; III - средний выход центров,  $\text{г}^{-1}$ .

Известно, что исследуемые соли кроме льдообразующих свойств обладают высокими конденсационными свойствами. Исследование конденсационных свойств растворов солей проводили с помощью термодиффузионной камеры «Град-3». Результаты экспериментов приведены в табл.1.

Эксперименты проводили при положительных температурах близких к 0°C и при пересыщении 102 %. Были исследованы конденсационные свойства аэрозолей R<sub>1</sub> и R<sub>2</sub> и хорошо известного, как гигроскопическое вещество- хлористого натрия.

Анализ результатов показывает, что капли на аэрозольных частицах NaCl и R<sub>1</sub> появляются в течение 1,5 – 2 секунд, а на частицах R<sub>2</sub> капли образуются значительно позже, через 2,5 – 3 минуты. Установлено, что с одного грамма раствора солей R<sub>1</sub> и R<sub>2</sub> получается 10<sup>12</sup> – 10<sup>14</sup> центров образования капель, а с одного грамма хлористого натрия образуется 10<sup>9</sup> – 10<sup>10</sup> центров. Таким образом, по времени проявления ядер конденсации растворы солей R<sub>1</sub> и NaCl близки, в то же время число ядер конденсации с одного грамма R<sub>1</sub> больше на несколько порядков.

Проводилось сравнение раствора соли тетрабутиламмония бромида во фреоне и реагента AgI по скорости проявления льдообразующих ядер. Рис.3 показана зависимость количества кристаллов от времени их осаждения на подложки.

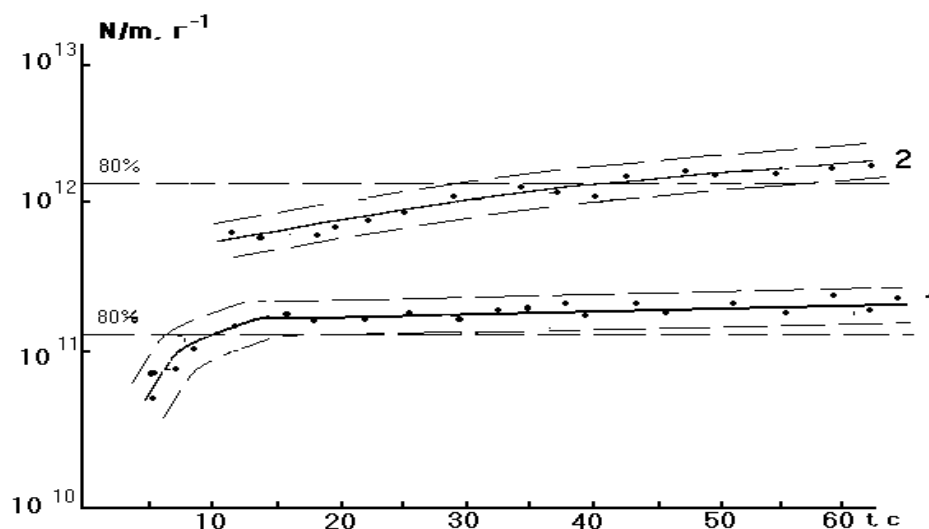


Рис.3 Зависимость количества образовавшихся кристаллов от времени осаждения на подложку (1– для R<sub>1</sub> , 2– для AgI).

Как видно из графика, 80% кристаллов выпадают на подложку за 10-15 секунд с момента внесения аэрозоля раствора соли R<sub>1</sub> в переохлажденный пар, в то время как при внесении аэрозоля йодистого серебра 80% образующихся ледяных кристаллов выпадает через 40-50 сек. Это позволяет сделать вывод о том, что скорость проявления ядер раствора соли R<sub>1</sub> больше, чем ядер йодистого серебра.

### **Основные выводы:**

1. Установлено, что преобладающей пороговой температурой льдообразования для аэрозольных осадков, взятых из различных слоев роста градин, является температура  $-6^{\circ}\text{C}$ . Льдообразующая активность как атмосферного аэрозоля, так и частиц из зародышей градин возрастает с понижением температуры.

2. Исследована льдообразующая эффективность растворов солей тетрабутиламмония бромиды и иодида, растворенных во фреоне. Выход кристаллов на один грамм раствора соли сравним с льдообразующей эффективностью  $\text{AgI}$ . Температурный порог льдообразования составляет  $-1,5^{\circ}\text{C}$ . Скорость проявления льдообразующих свойств раствора соли  $\text{R}_1$  больше, чем  $\text{AgI}$ . Растворы этих солей можно использовать для воздействия на облачные процессы.

3. Экспериментально установлено, что конденсационные свойства растворов солей тетрабутиламмония бромиды и иодида превосходят конденсационные свойства хорошо известного гигроскопичного вещества  $\text{NaCl}$ . Время проявления конденсационных свойств раствора соли  $\text{R}_1$  сравнимо со временем проявления конденсационных свойств  $\text{NaCl}$  и составляет в среднем 5 с. Растворы солей тетрабутиламмония бромиды и иодида можно использовать для воздействия на туманы.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Байсиев Х.-М. Х., Тлисов М.И., Шогенова М.М. Устройство для распыления жидкости в атмосферу // Патент № 2228801 RU C2 7 B05B 11/00- Заявл. 29.07.2002. Опубл. 20.05.2004. Бюл.№14.

2. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. –Л.: Гидрометеиздат,1990. С.463.

3. Комалов А.С., Степанов Г.В., Степанова С.И., Чеченова Н.Ш., Шведов С.В. Исследование эффективности осаждения аэрозолей на миллиметровые фильтры // Труды ВГИ,1985.

4. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработать и провести испытание новых льдообразующих реагентов с высокой эффективностью для работ по активным воздействиям на облака». Рук. Тлисов М.И. ГР 01960010843. - Нальчик, 2000.

5. Руководящий документ 52. Методические указания: «Методика измерения льдообразующей активности аэрозолей в лабораторных условиях» // ЦАО, 1984. С.18.

6. Шогенова М.М. Льдообразующие и конденсационные свойства растворов солей тетрабутиламмония во фреоне // Сборник научных трудов 3 Научной конференции молодых ученых. - Нальчик, 2002. С.162-168.

## **ABSTRACTS**

In the article the research results of iceformed and condensational properties of bromid tetrabutylammonium and iodid tetrabutylammonium salt solutions in ecological pure frion are demonstrated. The equipment and the method of iceformed and condensational properties of salt solutions are being described. The description of treated devices is given. The results of experiments have shown that the investigated salt solutions have high condensational and iceformed properties.

## **АННОТАЦИЯ**

В статье приведены результаты исследования льдообразующих свойств растворов солей тетрабутиламмония бромида и тетрабутиламмония иодида в экологически чистом фреоне. Описывается аппаратура и методика исследования льдообразующих и конденсационных свойств растворов солей. Приводится описание разработанных устройств для введения жидкого аэрозоля в облачную камеру. Результаты экспериментов показали, что растворы исследуемых солей обладают высокими льдообразующими и конденсационными свойствами.

© М.М. Шогенова, 2009

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Аджиева Аида Анатольевна* канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Государственного учреждения «Высокогорный геофизический институт»
- Bravo–Castillero J.* Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana, San Lázaro y L, Vedado, Habana 4, CP 10400. Cuba
- Brito–Santana H.* Centro de Medicina y Complejidad, Instituto Superior de Ciencias Médicas “Carlos J. Finlay”, Carretera Central Oeste SN, Camaguey, Cuba
- Guinovart–Díaz R.* Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana, San Lázaro y L, Vedado, Habana 4, CP 10400. Cuba
- Rodríguez–Ramos R.* Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana, San Lázaro y L, Vedado, Habana 4, CP 10400. Cuba
- Sabina F.J.* Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 20-726, Delegación de Álvaro Obregón, 01000 México D.F., México
- Бабейко Андрей Юрьевич* канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam (Немецкий национальный центр наук о Земле)
- Балкарова Светлана Борисовна* канд. физ.-мат. наук, доцент Кабардино-Балкарского Государственного университета им. Х.М. Бербекова
- Беданокоев Азамат Юрьевич* канд. технич. наук, заведующий лабораторией нанокompозитов на основе промышленных полимеров НИФХИ им. Л.Я. Карпова

- Беданокон Мурат Капланович*** доктор экон. наук, профессор, декан инженерно-экономического факультета, зав. кафедрой высшей математики и системного анализа Майкопского государственного технологического университета
- Беданокон Саида Юрьевна*** канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей математики и системного анализа инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета
- Бельмехов Рашид Январович*** начальник Управления лесами Республики Адыгея
- Богачев Александр Валерьевич*** студент 4 курса инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета
- Гетьманов Валентин Валерьевич*** студент 5 курса экологического факультета Майкопского государственного технологического университета
- Гук Галина Александровна*** канд. технич. наук, доцент кафедры экономики и управления на предприятии (транспорт) инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета
- Дахова Оксана Олеговна*** научный сотрудник Государственного учреждения «Высокогорный геофизический институт»
- Дёмина Татьяна Ивановна*** канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей математики и системного анализа инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета

- Каблуков Виктор Иванович*** канд. геол.-минер. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов экологического факультета Майкопского государственного технологического университета
- Киселева Софья Валентиновна*** канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
- Коблева Роза Батырбиевна*** преподаватель кафедры высшей математики и системного анализа инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета
- Кориневич Ленина Аркадьевна*** начальник Управления по недропользованию по Республике Адыгея
- Кулова Даханеф Довлетмизовна*** канд. биол. наук, доцент Майкопского государственного технологического университета
- Кучинская Елена Анатольевна*** канд. биол. наук, доцент Майкопского государственного технологического университета
- Лебедев Сергей Анатольевич*** канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Геофизического центра РАН
- Марченков Алексей Юрьевич*** канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики Земли физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
- Машуков Идар Хазреталиевич*** инженер-программист Государственного учреждения «Высокогорный геофизический институт»
- Салтыкова Анастасия Юрьевна*** аспирант Майкопского государственного технологического университета, инженер-эколог ЛИУ № 8, п. Двубратский Краснодарского края



|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>Сиротюк Эмилия Айсовна</i></b>          | доктор биол. наук, профессор, зав. кафедрой охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов экологического факультета Майкопского государственного технологического университета, декан инженерно-экономического факультета |
| <b><i>Тах Ирина Петровна</i></b>              | научный сотрудник института экологии горных территорий Кабардино-Балкарского Научного центра РАН                                                                                                                                                     |
| <b><i>Тороян Рубен Альбертович</i></b>        | канд. техн. наук, инженер кафедры сервиса транспортных технологических машин и оборудования инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета                                                           |
| <b><i>Тхатель Анзаур Алиевич</i></b>          | аспирант Майкопского государственного технологического университета                                                                                                                                                                                  |
| <b><i>Хакунов Масхуд Русланович</i></b>       | аспирант Майкопского государственного технологического университета, старший инспектор-кинолог ФБУ ИК-6                                                                                                                                              |
| <b><i>Хоконов Азамат Хазрет-Алиевич</i></b>   | доктор физ.-мат. наук, профессор Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова                                                                                                                                              |
| <b><i>Хурумов Азаман Нурбиевич</i></b>        | аспирант Адыгейского государственного университета                                                                                                                                                                                                   |
| <b><i>Черепанцев Александр Сергеевич</i></b>  | канд. физ.-мат. наук, доцент Таганрогского технологического института Южного федерального университета                                                                                                                                               |
| <b><i>Чернявский Адольф Александрович</i></b> | канд. техн. наук, главный инженер ОАО «Южный инженерный центр энергетики «Ростовтеплоэлектропроект»                                                                                                                                                  |

***Шаповалов Виталий  
Александрович***

инженер-программист Государственного учреждения «Высокогорный геофизический институт»

***Шевякова Ольга Петровна***

канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры высшей математики и системного анализа инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета

***Шехмирзова Мерем  
Джумальдиновна***

канд. с.-х. наук, доцент кафедры естествознания Майкопского государственного технологического университета

***Шогенова Марьяна  
Мухарбиевна***

канд. физ.-мат. наук, доцент Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ**

**Материалы научно-практического семинара  
Майкоп, 12 – 15 мая 2009 г.**

Подписано в печать 24.04.2009. Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага офисная.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 15,58. Заказ 09. Тираж 100 экз.  
Отпечатано с готового оригинал-макета на участке  
оперативной полиграфии ИП Магарин О.Г. 385011, г. Майкоп, ул. 12 Марта, 146.  
Тел. 8-906-438-28-07. E-mail: olemag@rambler.ru